

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Trvanlivost nástrojů při obrábění sendvičového materiálu

Autor: **Bc. Jiří VOBROUČEK**

Vedoucí práce: **Ing. Miroslav ZETEK, PhD.**

Akademický rok 2015/2016

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Zde bych rád vyjádřil svůj vděk firmě Novem Car Interior Design k.s. za poskytnutí možnosti čerpání informací a provedení tohoto výzkumu v její oblasti podnikání. Také panu Janu Špetovi, Josefu Škardovi a Ing. Miroslavu Zetkovi, PhD za odborné rady týkající se výroby fréz, dalších záležitostí spjatých s touto prací.

Tato diplomová práce vznikla za podpory GA ZČU při řešení projektu SGS-031-2013 s názvem „Výzkum a vývoj pro inovace v oboru strojírenská technologie – technologie obrábění”.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Bc. Vobrouček	Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 Strojní inženýrství		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Zetek, PhD.	Miroslav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Trvanlivost nástrojů při obrábění sendvičového materiálu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN

CELKEM	61	TEXTOVÁ ČÁST	52	GRAFICKÁ ČÁST	-
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Účelem této diplomové práce je znázornění vlivů změn kvality povrchu hřbetu čelní válcové frézy na povrch sendvičového materiálu a případné nalezení produktivnějších hodnot, co se životnosti nástroje týče, než je současný stav. Část práce je také věnována popisu výroby daného testovaného obrobku a okolnostem, které jsou spojené s jeho zpracováním a je nezbytné je dodržet.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Sendvičový materiál, fréza, omílání, kvalita řezu, frézování, cermet</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Bc. Vobrouček		Jiří
FIELD OF STUDY	N2301 „Mechanical Engeneering“		
SUPERVISOR	Ing. Zetek, PhD.		Miroslav
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	End mills durability by sandwich material milling		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES

TOTALLY	61	TEXT PART	52	GRAPHICAL PART	-
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The main idea of this diploma work is to show depending of end mill surface quality on its lifetime and appropriate foundation of better solution in cutter lifetime. Another part of thesis belongs to tested part manufacture description and conditions which are connected with it and is necessary to take care about them.
KEY WORDS	Sandwich material, end mill, polishing, cut surface quality, milling, cermet

Obsah

Obsah.....	5
Přehled zkratk.....	1
1. Úvod.....	2
2. Analýza současného stavu.....	3
2.1. Definice sendvičového materiálu.....	3
2.1.1. Charakteristiky sendvičových konstrukcí.....	3
2.1.2. Tuhost a pevnost sendvičových konstrukcí.....	4
2.1.3. Tepelná odolnost sendvičových konstrukcí.....	4
2.1.4. Skladba a materiály krycích vrstev.....	4
2.1.5. Materiály jádra sendvičových materiálů.....	6
2.2. Konkrétní obráběný sendvičový materiál.....	10
2.3. Problémy spojené s obráběním sendvičového materiálu.....	10
2.4. Definice současného nástroje – standardu (etalonu).....	12
3. Stroj a řezné podmínky pro testování nástroje.....	15
3.1. Použitý stroj.....	15
3.2. Řezné podmínky při testování.....	16
3.3. Upnutí nástroje.....	17
3.4. Upínání obrobků.....	18
4. Princip použitých modifikací.....	20
4.1. Omílání.....	20
4.2. Cermet.....	26
5. Návrh a realizace vlastního experimentu.....	31
5.1. Varianta 1 – omílání 1.....	31
5.2. Varianta 2 – omílání 2.....	32
5.3. Varianta 3 – omílání 3.....	34
5.4. Varianta 4 – cermet.....	35
5.5. Porovnání variant.....	37
6. Vyhodnocení navržených variant.....	38
6.1. Vyhodnocení v polovině životnosti.....	38
6.1.1. Standardní nástroj – polovina životnosti.....	38
6.1.2. Varianta 1 – polovina životnosti.....	39
6.1.3. Varianta 2 – polovina životnosti.....	40

6.1.4.	Varianta 3 – v polovině životnosti	41
6.1.5.	Varianta 4 – po 2 kusech	42
6.2.	Vyhodnocení na konci životnosti	43
6.2.1.	Standardní nástroj – vyhodnocení na konci životnosti.....	43
6.2.2.	Varianta 1 – vyhodnocení na konci životnosti	44
6.2.3.	Varianta 2 – vyhodnocení na konci životnosti	46
6.2.4.	Varianta 3 – vyhodnocení na konci životnosti	47
6.2.5.	Varianta 4 – vyhodnocení na konci životnosti	49
6.3.	Tabulka shrnutí vyhodnocení	50
7.	Zhodnocení variant.....	51
7.1.	Zhodnocení varianty 1	51
7.2.	Zhodnocení varianty 2	51
7.3.	Zhodnocení varianty 3	51
7.4.	Zhodnocení varianty 4	51
8.	Závěr.....	52
POUŽITÁ LITERATURA.....		53
KNIŽNÍ PUBLIKACE.....		53
ELEKTRONICKÉ ZDROJE.....		53

Přehled zkratk

PUR – Numerical control

CNC - Computer numerical control

VBD – Vyměnitelné břitové destičky

PKD – Polykristalický diamant

ABS - akrylonitrilbutadienstyren

Ra – průměrná drsnost

Rz - výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů

HPL - High Pressure Laminate

HOBE - Honeycomb for expansion

1. Úvod

(použité zdroje [1] [12])

V dnešní době, kdy se velice tlačí na efektivitu výroby a maximální využití kapacit strojů a pracovního času pracovníků, je nezbytné využívat takové technologie, které tomu napomáhají. Pro velkosériové výroby to například znamená zvyšování stupně automatizace v závodě nebo využívání strojů, multifunkčních center, která dokážou vykonávat operace, které by jinak byly provedeny na více strojích. S tím se také rozšiřují možnosti obrábění tvarových dílů anebo zefektivňování obrábění hůře obrobitelných materiálů. Stroj je však jedním aspektem, další nezbytností je mít ten správný, produktivní nástroj s vhodně navrženým materiálem, geometrií a správně nastavenými řeznými podmínkami.

Obecně platí, že není možné používat jeden typ geometrie nebo základního materiálu nástroje na každý obráběný materiál, pokud je cílem dosáhnout co nejvyšší efektivity produkce. S těmito podmínkami se také mění i řezné podmínky, jako je posuvová rychlost, otáčky nástroje, hloubka řezu, řezná rychlost, atd. Nastavení geometrie nástroje, respektive jejich úhlů má velký vliv například na řezný odpor a od toho se odvíjející kvalita obráběného povrchu a v neposlední řadě životnost samotného nástroje a v závěru i vřetene stroje.

Další složkou, která může být modifikovatelná, je i povrch nástrojů a to například za účelem zvýšení otěruvzdornosti, zvýšení teplotní odolnosti či tvrdosti. Metody, kterými lze tohoto dosáhnout je povlakování různými materiály, lapování, omílání, atd. Prostor pro úpravu povrchu nástroje je velice široký a pro nalezení té správné varianty nebo jejich kombinace je třeba investovat spoustu času do výzkumu.

V odvětví automobilového průmyslu nacházejí stále vyšší a vyšší uplatnění sendvičové materiály, které lze vidět například v interiérech automobilů a to jako palubní desky, ozdobné lišty, dveřní panely apod. A pro získání těchto, mnohdy tvarově složitých, komponentů jsou právě využívány stále modernější a modernější technologie, které posouvají hranice designu stále dopředu.

Při detailnějším prozkoumání právě okrasných lišt interiéru automobilů je patrné, že se jedná o tvarově komplikované a strukturně složité díly. Jejich skladbu tvoří převážně ABS plast, hliník, dřevěná dýha s tkaninou a různými typy lepidel a lak, který zakrývá dřevěnou dýhu. Komplikovanost tvaru takových to dílů si vyžaduje využití, již zmiňovaných, moderních technologií, v případě obrábění jsou to konkrétně pětiosá frézovací CNC centra.

Cílem této práce je ukázat, jak ovlivní životnost nástroje a kvalitu obrobeného povrchu zásah do nástroje v podobě úpravy jeho povrchu omíláním (povrchu hřbetu) anebo záměna základního materiálu za jiný.

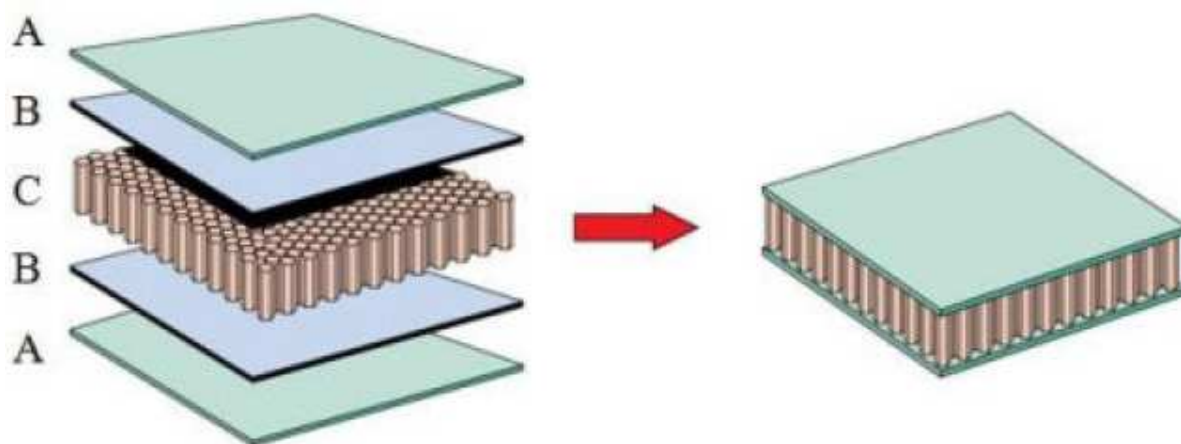
2. Analýza současného stavu

V této kapitole se nachází přiblížení pojmu sendvičový materiál a vysvětlení pojmů s ním spojených. Dále je zde popsán konkrétní materiál, na kterém bude prováděn výzkum a problémy, které jsou spojeny s jeho výrobou. Závěrem je zde specifikace etalonového nástroje, se kterým se budou porovnávat různá variantní řešení.

2.1. Definice sendvičového materiálu

(použité zdroje: [2], [4], [5], [9], [11], [12])

Nejzákladnější sendvičový materiál je definován jako vícevrstvý laminární kompozitní materiál. Skládá se ze 2 vnějších vrstev a ty překrývají jádro z lehkého materiálu, které je umístěno mezi těmito vrstvami (mezivrstva) (viz. Obrázek 1). Vnější vrstvy jsou z pravidla tenké, ale oproti jádru pevné, tuhé. Naopak jádro bývá silnější co do tloušťky a z pravidla z materiálu o nižší pevnosti. Pokud se porovná takto poskládaný sendvičový panel s jednoduchým laminátem, pak lze tvrdit, že disponuje vyšší tuhostí, lepšími izolačními vlastnostmi a nižší hmotností. Jádro zde plní funkci přenašeče smykového zatížení mezi oběma vnějšími vrstvami. Vnější vrstva naopak dodává sendviči příčnou tuhost a pevnost.



Obrázek 1 Skladba základního sendvičového materiálu (A – vnější vrstva, B – adhezní vrstva, C – voštinové jádro)

Sendvičové materiály, jakož to vrstvené konstrukce lze odlišovat dle různých vlastností – pevnost, tvrdost, korozní odolnost. Je to materiál sdružující vlastnosti pevných povrchových materiálů a houževnatějšího jádra. Nejznámější jádra jsou vyrobená z různých profilových vrstev, voštin anebo pěn. Všedním příkladem sendvičového materiálu mohou být například kancelářské dveře, které jsou z něho vyrobeny. Můžeme zde najít využití plastových nebo kovových materiálů, dřeva, ale i papíru.

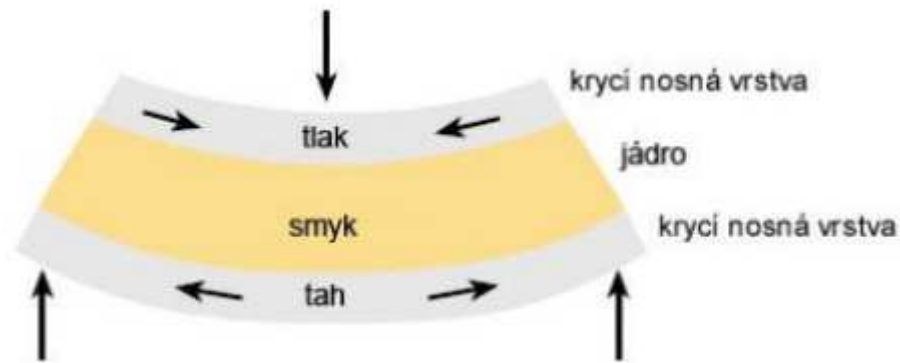
2.1.1. Charakteristiky sendvičových konstrukcí

Sendvičové konstrukce by měly být takové konstrukce, které mají dvě tuhé krycí vrstvy, zatěžované tahovými a tlakovými silami a jádro, které má oproti krycím deskám nižší hustotu a přenáší mezi nimi smykové působení sil. Tyto konstrukce se využívají tam, kde je zapotřebí relativně vysoké pevnosti a tuhosti v poměru s nízkou hmotností, takže mají velice vysoké

procento využití v leteckém a automobilovém průmyslu. Dalším odvětvím, kde je naleznout je například stavebnictví. Zde se v určitých případech využívá i jejich nízká tepelná propustnost, respektive slouží mimo jiné i jako tepelná izolace. Mezi další výhody sendvičových konstrukcí patří jejich odolnost proti únavě, nízká náchylnost na šíření trhlin, odolnost vůči rázům ale i jako velmi dobrá akustická izolace. Finální vlastnosti se odvíjejí od materiálu a skladby jádra.

2.1.2. Tuhost a pevnost sendvičových konstrukcí

Protože na krycí nosné vrstvy působí tlakové a tahové síly, používají se zde lamináty, jež jsou vyztuženy skleněnými či uhlíkovými vlákny. Ohybovou tuhost sendvičové konstrukce udává druhá mocnina její tloušťky. Jelikož jádro je většinou z lehkých materiálů o nízké hustotě, ve srovnání s krycí vrstvou, nedochází k markantnímu nárůstu hmotnosti při zvětšující se tloušťce. Jádro také musí disponovat takovými vlastnostmi, aby vydrželo snášet smyková napětí. Obrázek 2 vyobrazuje působení sil ve vnějších krycích vrstvách a v jádru. Sendvičové konstrukce mají oproti relativně nízké hmotnosti vysokou tuhost a pevnost v ohybu.



Obrázek 2 Ohybové zatížení sendvičové konstrukce

2.1.3. Tepelná odolnost sendvičových konstrukcí

I sendvičové konstrukce mohou být využívány v oblastech, kde jsou značné teplotní výkyvy anebo v prostředí se značně nízkými či vysokými teplotami. Teplotní odolnost těchto materiálů se odvíjí od teplotní odolnosti jednotlivých vrstev. Hraje zde velkou roli jejich tepelná vodivost. Pokud mají použité materiály vysokou tepelnou vodivost, pak dochází k jejich nižšímu ohřevu, než v opačném případě. Tento fakt se využívá například při konstrukci kosmických raketoplánů, kde jsou využívány hliníkové voštiny právě ze zmíněného důvodu. V dopravní technice je zase důležité dbát stanovených předpisů, které stanovují požadovanou odolnost materiálů proti ohni. Proto používané materiály procházejí atestací, která zaručuje splnění požadovaných protipožárních předpisů.

2.1.4. Skladba a materiály krycích vrstev

Co se tloušťky krycích vrstev, jsou relativně tenké, avšak použité materiály jsou relativně tuhé. Na tyto materiály jsou také kladeny nároky, aby byly snadno ohýbatelné a profilovatelné. Musí také splňovat nároky, které jsou na ně kladeny, a to například odolnost

vůči povětrnostním vlivům, těsnost vůči páře, odolávání korozi nebo ohni. Největší materiálové zastoupení v tenkých vrstvách mají slitiny hliníku, ocel, laminát a dřevo.

Ocelové a hliníkové krycí vrstvy

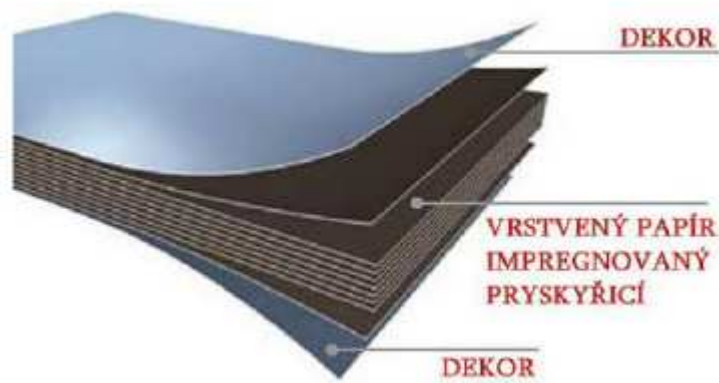
Ocelové a hliníkové krycí vrstvy se nejčastěji vyskytují ve formě tenkých plechů, které se vyrábějí válcováním za studena a mají ochranu proti korozi. Ta je zajištěna použitím žárového zinkování nebo přímo použitím zinkových hliníkových plechů. V případě vyšších hygienických nebo korozivzdorných nároků na sendvičový materiál se používají desky hliníkové. Obecně se tloušťka plechů pohybuje v rozmezí 0,7 – 1,2 mm.

Krycí vrstvy z předimpregnovaných materiálů

Jedná se o materiál, který se používá jako polotovar pro výrobu vláknových kompozitů, hlavní složkou je zde výztuž, která je impregnovaná částečně vytvrzenými pryskyřicemi, jako například epoxidová pryskyřice nebo fenolová pryskyřice. Strukturu předimpregnovaných materiálů tvoří tkanina, rovingy anebo také rohože, které jsou impregnované reaktoplastickou či termoplastickou matricí. Pláty tohoto materiálu se dají vrstvit tak, aby byla dosažena požadovaná tloušťka krycí vrstvy sendvičového materiálu. Umožňují i různé vytvarování ve formách a závěrečné vytvrzení je prováděna za zvýšené teploty a tlaku. Jejich výhodou je, ve srovnání s ocelovými, velice nízká hmotnost, vysoká tuhost a životnost.

Lamináty

Jako vnější krycí vrstvy se také používá laminát, který může být vyztužený buď to skleněnými, nebo uhlíkovými vlákny. Je to kompozitní materiál, a při jeho výrobě se na vnější vrstvu nanáší pryskyřice, na kterou se poté umísťuje samotné jádro sendvičové konstrukce. Během pár sekund se pryskyřice rozpustí, načež se spojí s horní vnější vrstvou. Pro dosažení co možná nejlepšího spojení jednotlivých vrstev se využívá vakua, ať už pomocí to vakuového vaku nebo autoklávu. Pro různé vnější nebo vnitřní aplikace se také používá takzvaný vysokotlaký laminát (HPL) (struktura na Obrázku 3). Tento druh materiálu disponuje vysokou mechanickou pevností a odolností proti povětrnostním vlivům. Jeho složení tvoří pryskyřicí naimpregnovaný papír, který se vrstvý a při vysoké teplotě a vysokém tlaku se slinuje do podoby homogenní desky.



Obrázek 3 Struktura HPL

2.1.5. Materiály jádra sendvičových materiálů

Jádra sendvičových materiálů musejí splňovat určité nároky na tuhost, mechanickou pevnost, a v neposlední řadě minimální hmotnost. Další vlastnosti, jako je například hořlavost či teplotní propustnost, se odvíjí od finálního použití. Volba druhu výplňového materiálu má mimo jiné vliv i na zvukovou izolaci v místě použití.

Dřevo

Původy sendvičového materiálu s využitím dřeva sahají až do doby 3500 let před naším letopočtem a to do Egypta, kde zdejší lidé za účelem získání vysoké vrstvy dřeva o stejných rozměrech jej na sebe vrstvlili a spojovali lepidlem. Jednou z definicí dřeva, v oblasti sendvičových materiálů, přírodní voština, jejíž struktura v mikroskopickém měřítku vypadá jako buněčná hexagonální struktura syntetických voštin. Při tvoření sendvičových konstrukcí jsou vlákna dřeva orientována kolmo k rovině krycí vrstvy. Avšak nevýhodou tohoto materiálu je jeho vysoká náchylnost na vlhkost a následné hnilobě. Existují různé impregnace, chemická ošetření, ale to vše jsou jen dočasná řešení.



Obrázek 4 Příklad dřevěného jádra

Balza

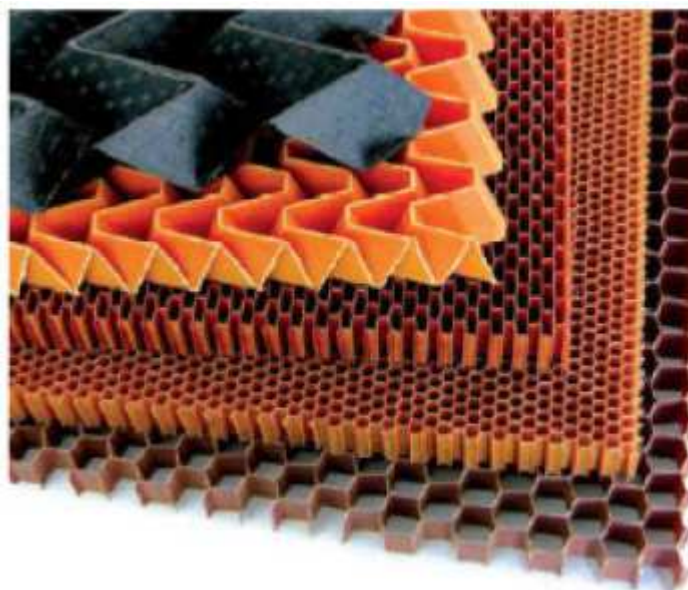
Jedná se o druh rychle rostoucí dřeviny z Jižní Ameriky. Výška stromu se pohybuje okolo 30 metrů. Pro jeho strukturu jsou typické velké buňky, jež vyplňuje voda. Po jejich vysušení se v buňkách nachází vlákna celulózy v ligninové matici. Zvláštní vlastností balzového dřeva je to, že nehoří plamenem, pouze doutná, při zvýšené teplotě neměkne (jako polymerní pěny) a má i menší tepelnou vodivost. Při zpracování tohoto materiálu pro výrobu sendvičových panelů, je možné použít infúzi pryskyřice, protože zmiňované buňky jsou zde uzavřené, ve srovnání s voštinami, kde tomu tak není.

Korek

Korek se získává z povrchové vrstvy stonku již odumřelých rostlin, z dubu korkového. Jeho strukturu tvoří vrstva buněk, která se nazývá felogén. Samotný proces těžby korku začíná, ještě když kmeny stromů mají průměr přibližně 30 cm, to se jejich stávající, nekvalitní kůra odřezává. Za dalších 9 až 15 let další kůra doroste a když dosáhne požadované tloušťky, tak se sklídí. Hlavní vlastnosti korku jsou výborné tepelné a zvukové izolační schopnosti, vysoká pružnost a nízká váha. Dále je schopný odolat vysokým mechanickým tlakům, pískům, má vysokou chemickou odolnost a odolá i teplotám pohybujícím se do 120°C.

Voštiny

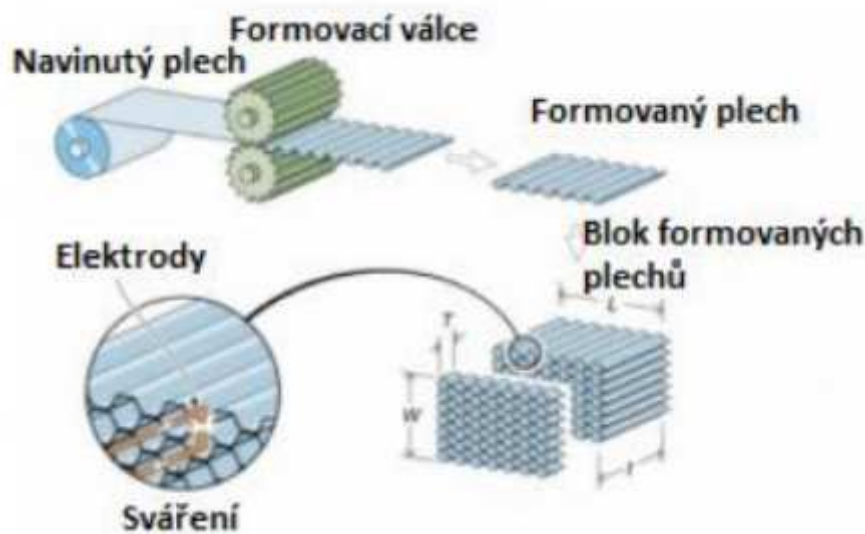
Jedná se o speciální typ materiálu, který lze vyrobit v různých výškách, velikostech nebo s různými tvary buněk. Tento typ jader má oproti pěnovým jádrům výhodu v lepších mechanických vlastnostech při stejné hustotě. Pro výrobu voštin se využívá nejnovějších technologií. Vyrábějí se pomocí formování z plátů výchozího materiálu. Ten je zastoupen v široké škále a je to například hliníkový plech, epoxidová pryskyřice, prosycené aramidové tkaniny, papír anebo textilie, která může být nasycena polyesterovou či fenolovou pryskyřicí. Pro tento typ jádra je specifická šestihránná nebo pyramidová struktura.



Obrázek 5 Příklady struktury voštin

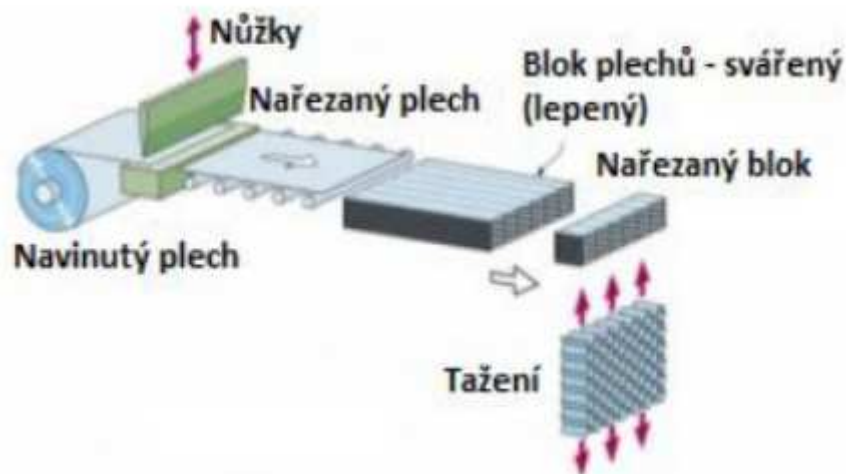
Výroba voštin

Výroba voštin spočívá ve formování plátů různých výchozích typů materiálů. To mohou být například skleněné, uhlíkové nebo aramidové folie, textil anebo v některých případech i textil. V poslední době čelí vysoké popularitě výroba voštin pomocí tzv. vrapování fólie, čímž vzniknou příčné vlny, následuje stříhání, na závěr spojení dvou listů a tím vznikne panel se šestihrannými dutinami. Po tomto zpracování je však nutné nanést pryskyřici, která strukturu vytvrdí. Po jejím vytvrdnutí se panel nařeže v podélném směru a tím vzniknou voštinové pláty s požadovanou tloušťkou.



Obrázek 6 Postup výroby plechové voštiny

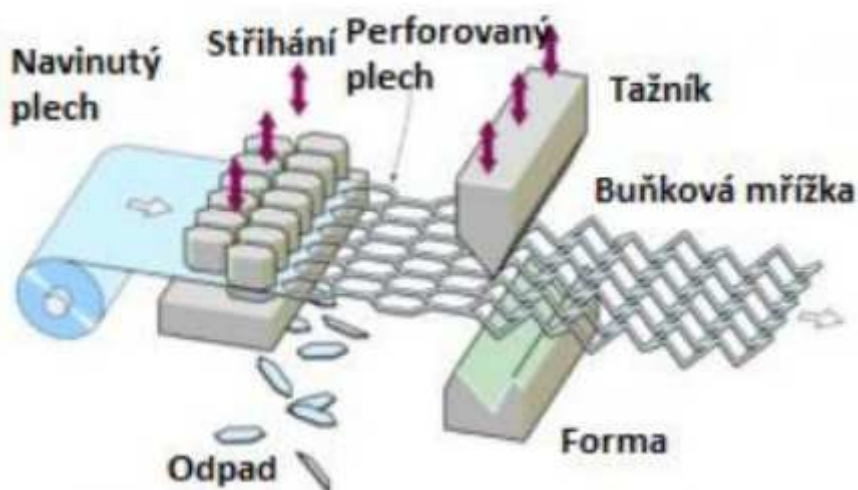
Další metoda pro výrobu voštin je metoda HOBE. Princip této technologie je takový, že se nejprve z navinutého plechu nařežou jednotlivé pláty, které se na sebe poskládají a v daných rozestupech se po délce spojí (viz. Obrázek 7). Takto spojený sloupec plechů se nařeže v rovině kolmé na dráhu spoje a tím se i získává přímo požadovaná výška voštiny. Takto uříznutý materiál se nakonec roztáhne a tím vznikne hexagonální buňková struktura. Pro spojování se používá buď laserové svařování, difuzní proces anebo lepení.



Obrázek 7 Ukázka výrobní technologie HOBE

Jednou z dalších metod výroby voštin je její skládání z pásů. Konkrétně tedy skládání plechových pásů, ve kterých již jsou vytvořeny výřezy. Pro jejich skládání není potřeba žádného ohýbání. Struktura vytvořených buněk má buďto čtyřhranný nebo trojúhelníkový tvar a závěrečné spojení jednotlivých pásů je pomocí svařování nebo pájení – v závislosti na použitém materiálu a finálním využití jádra.

Poslední uvedená metoda výroby voštin je metoda s využitím stříhání a ohýbání. Její princip je vyobrazen na obrázku 8. V první fázi dochází k vystřížení struktury mřížky, respektive tvaru jednotlivých buněk z pásu materiálu a ve druhé fázi je tento pás ohýbán do stanoveného tvaru. Výhodou této metody je nízká náročnost na výrobní techniku a nevýhodou je vysoké procento nevyužitého materiálu.



Obrázek 8 výroba voštiny pomocí stříhání a ohýbání

2.2. Konkrétní obráběný sendvičový materiál

Jedná se tedy o sendvičovou konstrukci, kde je zastoupena celá řada dílčích materiálů, které mají následující uspořádání, od svrchního povrchu: PUR lak, dýha, tkanina, slepá dýha, slitina hliníku, ABS plast. V ABS plastu je přibližně 20 % skla, což značně komplikuje obrábění tohoto materiálu, protože sklo působí na řezné materiály jako brusivo. Uspořádání těchto vrstev je patrné na obrázku 9. Jedná se o typ povrchové úpravy „Vysoký lesk“, což znamená, že konečný povrch dílu prochází ještě fází leštění, aby byl dosažen právě vysoký lesk dílu (viz obrázek 10). V portfoliu výrobce je ještě další řada povrchových variant dílu, např.: dřevina bez PUR laku, hliník, karbon, atd.



Obrázek 9 Složení dílu

2.3. Problémy spojené s obráběním sendvičového materiálu

Pro obrábění uvedeného sendvičového materiálu se nejvíce používají tvrdokovové, dvoubřité, pravořezné čelní válcové frézy, jejichž průměr se pohybuje mezi 0,8 mm a 10 mm. Avšak nejčastěji používaným je 8 mm. Jak je možné vidět na obrázku 10, jedná se o tvarové díly, tedy o 5-ti osé frézování. Fréza objíždí díl po jeho obvodě, a v průběhu obrábění dochází ke změnám záběrových podmínek. Dalším faktem je, že v komplikovaných rádiusech je v programu stroje vysoká koncentrace bodů a tak kvůli výpočtům dráhy není schopný zachovat požadované obráběcí podmínky, které jsou v programu nastavené (otáčky, posuv). Vzhledem k těmto faktům nelze používat žádné katalogové či vypočtené obráběcí podmínky. Ty jsou postupně odlaďovány již na počátku nové výroby, dokud výsledek obrábění není vyhovující.

Dalším problémem spojeným s obráběním konkrétního sendvičového materiálu jsou nároky na obroběný povrch materiálu. Na povrchu nesmí zůstat žádné otřepy, to je známka například toho, že je již tupá fréza a nedochází k úplnému oddělení třísky. Jelikož v některých dílech je silnější vrstva hliníku, tak zde dochází k jeho pěchování a to vlivem špatného nastavení řezných podmínek nebo z důvodu vyššího odporu při řezání a tím pádem otupeným

břitem nástroje. Další fakt spojený s řezným odporem je vyštípávání plastu či laku na obráběném díle. Při zvýšeném odporu řezání působí vyšší tlak na díl a tak se i stane, že se v některých částech dílu se jeho část odštípne (viz. Obrázek 11).



Obrázek 10 Tvar obráběného dílu (polotovaru)



Obrázek 11 Ukázka odštípnutí laku

Dalším úskalím je, že při obrábění těchto polotovaru není možné použít jiné chladicí medium než stlačený vzduch či dusík, v případě obrábění dílů s obsahem magnesia. Je tomu tak proto, že dýha nesmí přijít do styku s kapalinou, takže vodní řezání či použití procesní kapaliny je vyloučené. Nesmí se na ní aplikovat vysoké teploty, které jsou například při plasmovém či laserovém řezání. Takže jedinou možností již zbývá zmíněný vzduch, který slouží jak k ochlazování řezného nástroje, tak k odstranění třísky z řezu.

Následujícím kritériem je nutnost použití fréz s pravořeznou geometrií, tlačících třísky směrem dolů, takže pod nástroj. Toto však není optimální v případech, kdy fréza obrábí pouze vybrání s plným dnem. Pokud by tomu tak ale nebylo, docházelo by k vytahování dřevěných vláken ven z dílu a bylo by i vyšší riziko odštípávání krycího laku a to je samozřejmě nežádoucí, protože by tak vznikaly vadné díly.

Motory, ve vřetení obráběcího stroje, mají nízký výkon, a však disponují vysokými otáčkami, čímž se částečně výkon nahrazuje. Obecně lze říci, že obráběné díly nelze obrábět nižšími otáčkami, než 20 000 ot/min.

Jak již bylo řečeno, mnohé z obráběných dílů jsou velice tvarově členité. A právě z toho důvodu není možné použít frézy s vyšším průměrem než 10 mm, protože by nebylo možné obrobít některé z rádiusů. Ve výrobě jsou však takové nároky na produktivitu strojů, že není ani možné díl vyhrubovat větším průměrem a poté jej dokončit menším průměrem nástroje. Při výměně nástroje by byly s takovým výrobním objemem příliš vysoké prostoje.

Cílem této diplomové práce tedy je, pokusit se nalézt modifikaci současných nástrojů, která by vedla ke zvýšení produktivity nástroje.

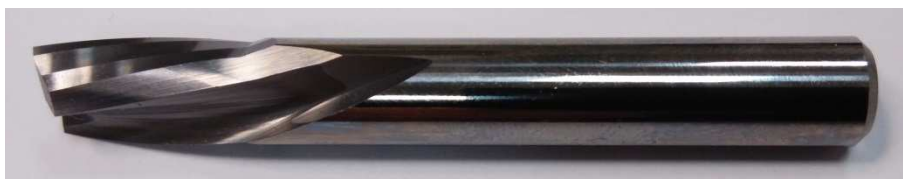
2.4. Definice současného nástroje – standardu (etalonu)

(použité zdroje: [7])

K obrábění sendvičového materiálu je zapotřebí ideálně velice ostrý nástroj s relativně malým úhlem ostří (β) a co nejmenším zaoblením břitu (cca 1 μm), aby snáze vnikal do materiálu. Takový nástroj však nelze vyrobit, a tak se empiricky stanovila geometrie frézy taková, která dělá kompromis mezi těmito požadavky. Frézu, která by splňovala specifikaci uvedenou v tabulce 1, však žádný známý dodavatel nemá standardně ve svém portfoliu. Proto si skupina Novem Car Interior Design k. s. zřídila pracoviště zvané Ostřicí centrum, které disponuje třemi nástrojovými bruskami, aby bylo schopné pokrýt veškeré odvolávky pro tvrdokovové nástroje z celé skupiny Novem group.

Jelikož je v sendvičových dílech obsaženo i sklo, na povrchu dílu je relativně tvrdý PUR lak a jako matrice dílu je zde hliníkový profil, je pro jeho obrábění zapotřebí tvrdšího materiálu, který by více odolával opotřebení. V případě rychlořezné oceli zde nastávají dva problémy. První problém je, že na strojích jsou používány tepelné upínače nástrojů a nástrojovou ocel do nich nelze upnout z důvodu její tepelné vodivosti. Respektive upnout jí lze, ale už by se z pouzdra nevyndala. Druhý problém je takový, že nedosahuje takových vlastností, aby odolávala složkám obsaženým v obráběném materiálu, takže její mezní opotřebení je téměř okamžité, po zjetí do dílu. Co se PKD nástrojů týče, tak zde nastává problém v možnostech nastavení geometrie nástroje. Jelikož břit nástroje je tvořen plátkem či několika plátky PKD materiálu, nelze vytvořit takovou drážku nebo šroubovici, jako u jiných materiálů a to je limitní. Další fakt je také cena těchto nástrojů. Mnohdy nedosahují takové životnosti, aby byly v porovnání počtu vyrobených kusů a ceny nástroje výhodnější.

Aktuálně používaný nástroj je tedy monolitní čelní válcová fréza zhotovená z tvrdokovového materiálu (slnutého karbidu), který je specifikován v tabulce 1. Disponuje dvěma břity s levou šroubovicí a je uzpůsobená pro pravé otáčky vřetene. Její geometrická specifikace je v tabulce 2.



Obrázek 12 Standardní nástroj

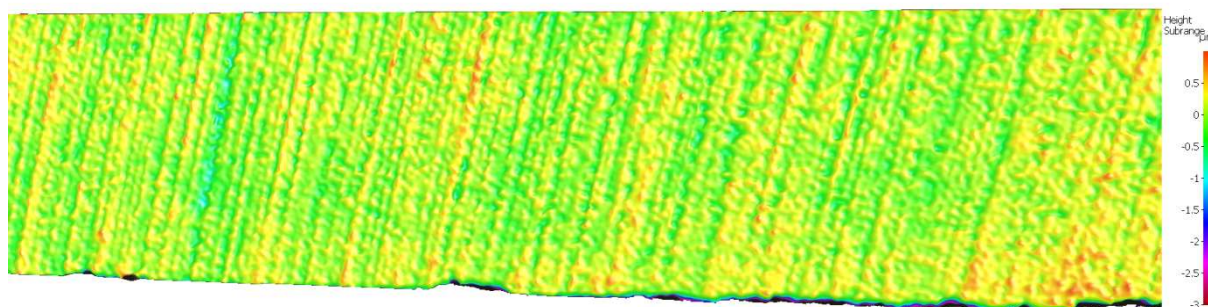
Obsah Co	4,2 %
Hustota	15,05 g/cm ³
Velikost zrna	0,2 μm
Tvrдость HV30	2200
Mez pevnosti v ohybu (Transverse rupture strength)	3700 MPA

Tabulka 1 Materiálová specifikace slinutého karbidu

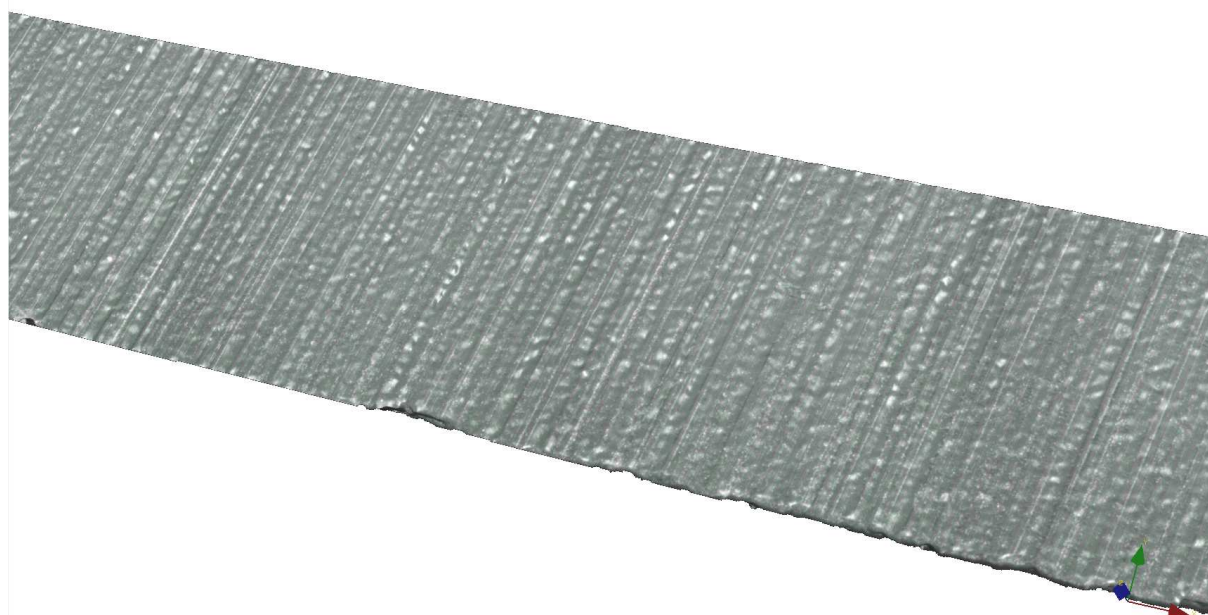
Standardní fréza - specifikace	
Úhel čela 0,3	13°
Úhel hřbetu 1	22°
Fazetka	0,7 mm
Pr. Jádra	3,3 mm
Úhel šroubovice	15°
Úhel hřbetu 2	35°

Tabulka 2 Geometrická specifikace nástroje

Drsnost a struktura povrchu etalonového nástroje je znázorněna na obrázcích 13 a 14



Obrázek 13 Barevné spektrum drsnosti povrchu etalonového nástroje



Obrázek 14 Scan struktury povrchu etalonového nástroje

Povrchovou analýzou na stroji Alicona se zjistila drsnost $R_a = 0,163 \mu\text{m}$ a $R_z = 1,131 \mu\text{m}$. Toto je drsnost povrchu základního nástroje, bez jakékoliv úpravy povrchu.

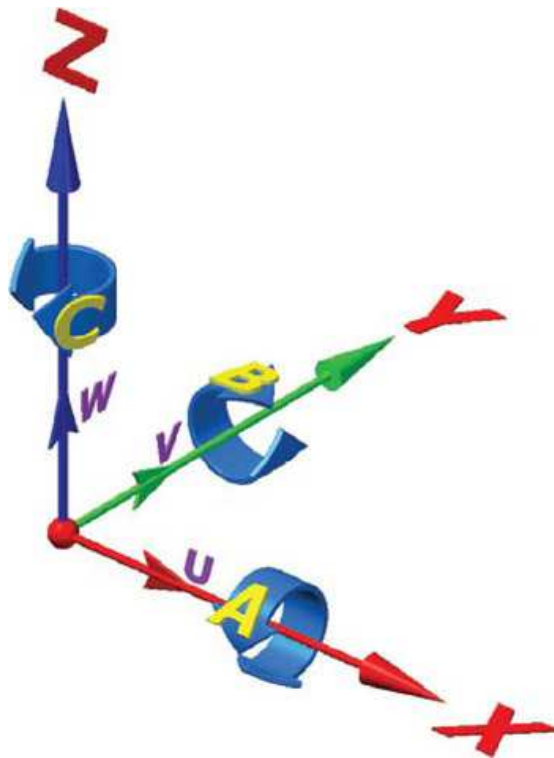
Za současných obráběcích podmínek, které jsou uvedeny v kapitole 3.2, má nástroj životnost, v počtu obrobených kusů, 90 kusů. Pokud se bude uvažovat strojní čas jednoho kusu 3 minuty a 6 sekund, tak poté je to v čase 270 minut a 18 sekund.

3. Stroj a řezné podmínky pro testování nástroje

V této kapitole je představení použité technologie, na které budou testy uskutečněny a za jakých podmínek.

3.1. Použitý stroj

Testování variant se realizuje na stroji MAKA MM 7t, který byl vyroben v roce 2008. Typově je to stroj určený k obrábění dřeva, což je poznat zejména podle jeho rozměrů. Tento stroj disponuje velkým pracovním prostorem. Je osazen dvěma stoly, které zprostředkovávají pohyb v ose Y. Tento stroj také umožňuje dvoukanálové obrábění, což znamená, že každé vřeteno může obrábět nezávisle na druhém, respektive každé z nich může vykonávat jiný pohyb. Podrobnější informace o stroji jsou uvedeny v tabulce 3 a na obrázku 15.



Obrázek 15 Souřadný systém stroje [13]

Typ stroje:		MAKA MM 7t					
							
Vnější rozměry:	Výška:	4000 mm	Délka:	6808 mm	Šířka:	7360 mm	
Pracovní prosotr:	X:	1700 mm	Y:	1500 mm	Z:	750 mm	
počet řízených os:	5 (X, Y, Z, B, C)						
Rotace os:	C:	720°	(2x 360°)	B:	260°	(2x130°)	
Vřeteno:	IBAG						
Výkon vřetene	5,5 kW						
maximální počet otáček:	40 000 ot/min						
Upínací systém upínače nástř	HSK F40						
Počet pozic v zásobníku nástř	10						
počet stolů:	2 - konají pohyb osy Y						
Ovládací systém:	Sinumerik 840D						

Tabulka 3: stroj MAKA MM 7t

3.2. Řezné podmínky při testování

Pro všechny typy variant byly použity totožné řezné podmínky. Jelikož je v závodě štíhlá linková výroba, je podmínkou zanechat stejný takt stroje, což znamená ponechat stejné řezné podmínky. Není možné ani zrychlení stroje a to z důvodu již využívaných maximálních otáček vřetene.

	od	do
Pracovní posuv při dokončovací operaci	4860 mm/min	6500 mm/min
Pracovní posuv při hrubovací operaci	3600 mm/min	5400 mm/min
Počet otáček za minutu	38000 ot/min	
Hrubovací přídavek	1 mm	

Tabulka 4 Řezné podmínky

3.3. Upnutí nástroje

Pro upnutí nástroje ve stroji je nutné nástroj nejprve upnout do tepelného upínače, který je určený pro upínání ve vřetení pomocí systému HSK 40 F (označuje tvar a rozměr upínacího kužele). Upínač je ukázán na obrázku 16. Princip tohoto upínání je takový, že futro se indukčně nahřeje na přístroji HAIMER (Obrázek 17), tím dojde k roztažení materiálu v oblasti upnutí nástroje a tím pádem i ke zvětšení průměru. To umožní zasunutí samotného nástroje do upínače a následuje chlazení pomocí chladících objímek, které jsou zároveň chlazeny v nich obíhající chladicí kapalinou. Je důležité upnout nástroj o požadovaném vyložení. K tomu slouží šroub, který je uvnitř pouzdra a nastavuje se jím výška dosedací plochy nástroje. V případě, že by se nastavení vyložení nástroje opomnělo a bylo nižší, hrozilo by, že při obrábění by nedocházelo k úplnému odfrézování přebytečného materiálu. Pokud by však byl nástroj příliš vyložený, hrozilo by vyšší riziko a to v podobě kolize nástroje s upínací šablonou anebo poškození obrobku.

Pokud se na stroji provede výměna nástroje, musí se vždy první vyrobený kus přeměřit v kontrolních šablonách, zdali je v toleranci. Pokud tomu tak není, je nutné upravit parametry v programu. Kdyby obsluha tento čin zanedbala a provedla přeměření až po několikátém kuse, vzniklo by riziko, že v případě zjištění nesprávných hodnot, by bylo více vadných dílů, než pouze ten měřený. To by mělo vliv na značné narušení plánu výroby, snížení produktivity a zvýšení zmetkovitosti na výrobním segmentu.



Obrázek 16 Tepelný upínač nástroje



Obrázek 17 HAIMER [6]

3.4. Upínání obrobků

Pro upnutí obráběného dílu jsou použity postupové šablony zhotovené ze slitiny hliníku. Byly zkonstruovány jako přesné tvarové protikusy, na základě CAD dat upínaného dílu. To bohužel ale nezaručuje, že upínané díly budou dokonale pasovat do takto zhotovených šablon. Bývá pravidlem, že zcela nové šablony se musejí upravovat ať už odebráním materiálu či naopak přidáváním vylepování. Je to proto, že obráběný díl je při jeho výrobě různě zahříván, například při odšťikování ABS plastu na jeho zadní plochu nebo odlévání PUR laku na jeho horní plochu. Avšak toto ohřívání a následné ochlazování dílu je nerovnoměrné a to způsobuje různé tvarové deformace dílu vlivem vznikající pnutí v materiálu. A z toho důvodu nelze dosáhnout totožných tvarů, jako jsou v CAD datech, podle kterých byly šablony zkonstruovány a vyrobeny.

Postupové, upínací šablony, znázorněné na obrázku 18 a obrázku 19 slouží k zaaretování obráběného dílu v požadované poloze a to pomocí přidržení co možná největší jeho plochy. Tím se omezí možnost vzniku vibrací obrobku, které značně snižují životnost nástroje a zhoršují kvalitu obrobeného povrchu. K samotnému upnutí jsou využívány pneumatické písty, které jednak přidrží víko, v otevřené či zavřené poloze a pak jsou ve dnech šablon vyfrézované zóny, kam je přiveden podtlak a dochází zde k přisátí dílu.



Obrázek 18 Šablona operace 1



Obrázek 19 Šablona operace 2

4. Princip použitých modifikací

V této kapitole je vysvětlení technologií a modifikací současně používaného nástroje, které byly použity pro vytvoření různých variant pro experimentální řešení výše popsané problematiky.

4.1. Omílání

(použité zdroje: [3], [10], [14])

Omílání, je proces, při kterém dochází k úpravě povrchu (leštění, čištění součástek, odstraňování koroze) materiálu pomocní abraze mezi obrobkem (v tomto případě nástrojem) a abrazivní směsí neboli technologickým činidlem. Avšak úběr materiálu je zde minimální, až zanedbatelný, v případě leštění. Technologických činidel je celá řada, od plastových (Obrázek 20), přes keramické (Obrázek 21) až po přírodní, a to například rozemleté ořechové skořápky (obrázek 22). Každá z uvedených složek má různý typ využití. Plastové se používá například pro omílání (broušení) neželezných kovů, keramický pro broušení výrobků z legované oceli a ořechové pro leštění slinutých karbidů či keramiky.



Obrázek 20 Plastové technologické činidlo



Obrázek 21 Keramické technologické činidlo



Obrázek 22 Technické činidlo ze skořápek vlašských ořechů

Do takových to substrátů ještě lze přidávat různé přídavné impregnace (pasty oleje), které zvýší efekt požadovaného úkonu, ať už broušení, leštění či konzervace.

Omílání se dělí na tři základní typy:

- vibrační
- odstředivé
- vlečné

Vibrační omílání

V případě této metody se samotné obrobky vkládají do bubnu, kde je již umístěno omílací medium, které může být tvořeno abrazivem, vodou a chemickým činidlem. Omílání může probíhat po různý časový interval, závisí na složitosti obrobku a požadavků na výslednou kvalitu povrchu. Pro tento typ omílání jsou ideální díly, u kterých to nebude konečná úprava povrchu, ale budou se dále například lakovat, povlakovat nebo leštit. Touto úpravou se dosáhne zejména stabilizace povrchu obrobku, vyrovnání tvrdosti, očištění a zaoblení hran.

Využívá se zejména pro:

- díly hydraulických a pneumatických zařízení
- komponenty spojek a převodovek
- zaoblování hran a broušení u dřevěných dětských hraček
- obecně v leteckém průmyslu
- čištění mincí
- v lékařství pro chirurgické nástroje a kloubní náhrady

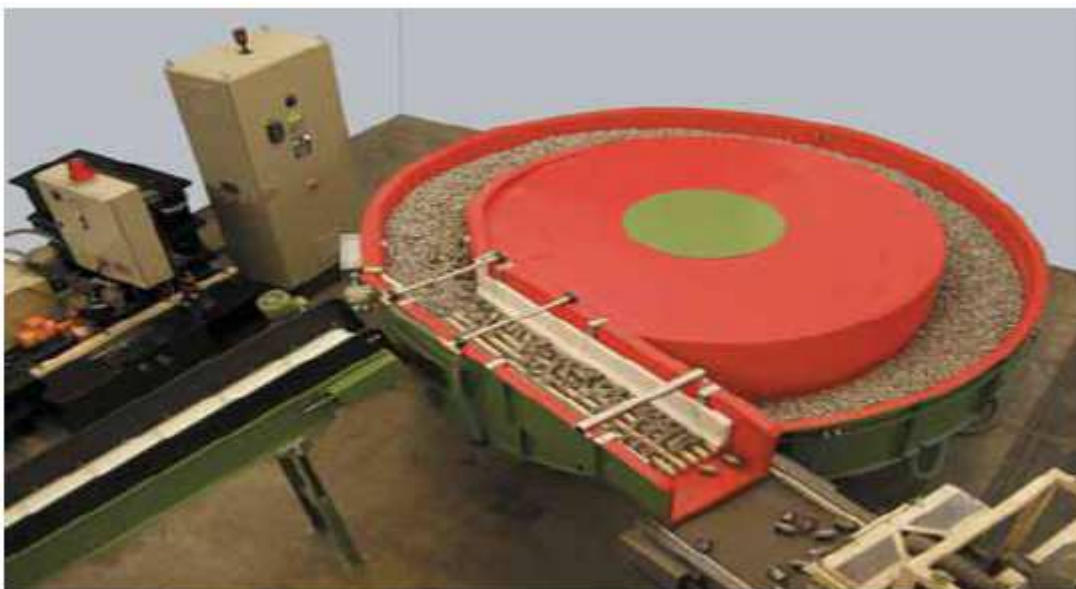
Jednou z technologií, která se pro vibrační omílání jsou rotační vibrátory. Mezi omílacími zařízeními mají nejrozšířenější využití. Její konstrukce patří k těm méně složitější, v porovnání s ostatními omílacími stroji využití je velice rozmanité. Je tomu tak díky vysoké možnosti flexibility v rozměrech omílacího bubnu a jeho jednoduchost.

Další využívaná technologie, respektive druh vibračního omílání je systém Rotomatic. Ten využívá pracovní kanál ve tvaru spirály, který může být 15 až 27 metrů dlouhý (zobrazeno na Obrázku 23). Obrobky jsou postupně vkládány do tohoto kanálu, kterým se, díky vibracím, pohybují až k jeho konci, kde vyúsťují do zásobníku. Je zde proměnlivá frekvence vibrací, od které se odvíjí doba, za kterou obrobek projde tímto vibračním omílacím zařízením. Tento systém se dá velice snadno automatizovat.



Obrázek 23 Systém Rotomatic

Dále se také využívá tzv. Long Radius vibrátorů (Obrázek 24), které se dají plnit buď postupně anebo dávkově. Využití dávkového plnění tohoto zařízení se využívá u obrobků, které mají větší rozměry. Dno kanálu je spirálovité, prstencové. Nejčastější využití tohoto typu vibračního omílání je pro odstranění otřepů, čištění, sražení hran nebo mírné zaoblení ostrých rohů a to během jednoho cyklu.



Obrázek 24 Long radius vibrační omílání

Posledním příkladem vibračního omílání je tzv. vibrační žlab (Obrázek 25). Ten určený pro obrobky větších rozměrů a převážně válcovitého tvaru. Jeho konstrukce může být až šest metrů dlouhá a jeden a půl metru široká. Vnitřní funkční prostor neboli žlab lze rozdělit přepážkou na jednotlivé komory, kde mohou být různá omílací media a lze také omílat více

různých součástí. Křehké nebo choulostivé části se mohou do žlabu zavěsit, aby nedocházelo o jejich otěru o stěny a dno žlabu a jejich následnému poškození.



Obrázek 25 Vibrační žlab

Odstředivé omílání

U tohoto druhu je samotný proces vykonáván v rotačním bubnu, který je shora otevřený. Boky bubnu jsou osazeny překážkami, které způsobují to, že obrobek s mediem se v něm pohybují a zároveň aby se obrobek v mediu „otíral“. Pokud je bubnem vypnutý, leží medium i s omílanými díly na dně. Po spuštění procesu se dno roztočí, s ním společně i medium s obrobky a uprostřed se vytvoří toroidní sloup (viz Obrázek 26). Nepravidelný pohyb těles a na ně působící odstředivá síla způsobuje jejich intenzivní omílání. Tento druh omílání je přibližně 20x účinnější než vibrační. Rozsah otáček, při kterém proces probíhá, se pohybuje mezi 60 až 250 otáčkami za minutu. Je vhodné pro odstraňování koroze a nečistot.

Jako technologická činidla se zde nejvíce využívají plastová, keramická, porcelánová a tavenina ve formě krupek nebo kostek.

Tento typ omílání se vyznačuje jednou výhodou oproti všem ostatním. Je zde možno při procesu použít omílací tělíska s různými hustotami. Důvodem, proč tomu tak není u ostatních technologických variant, je ten, že u nich se tato tělíska usazují na dně nádob a tam neplní žádnou funkci.

Odstředivé omílání dosahuje nejvyšší efektivity při omílání malých obrobků ve velkém množství, kterým nevadí rázy s dalšími obrobky umístěnými v bubnu ve stejném čase. Maximální velikost obrobku by se měla vejít do prostoru 100x100x60 milimetrů a jeho maximální váha by měla být do půl kilogramu.



Obrázek 26 Odstředivé omílání



Obrázek 27 Mokrý odstředivé omílání

Vlečné omílání

Nejvýkonnějším z výše uvedených je omílání vlečné. Je až 4x efektivnější než odstředivé omílání a 40x účinnější než vibrační omílání. Jeho výhodou zároveň je, že nedochází k vzájemnému kontaktu omílaných těles, jako je tomu u zbylých dvou typů, kde jsou omílaná tělesa volně vložena do bubnu stroje, který buď rotuje, nebo vibruje a tím způsobuje pohyb těles uvnitř. U vlečného jsou nástroje samostatně upnuty na vlečné tyči, která se otáčí kolem své osy a současně se otáčí ještě rotor, na kterém je tato tyč upnuta. Takže dochází k planetovému pohybu obrobku. Tím se zajišťuje, že každá část upravovaného dílu bude omleta stejně. Z toho důvodu, že tento typ omílání je nejintenzivnější, se používá pro hůře obrobitelné materiály, jako například keramika nebo slinutý karbid.

Posledním z příkladů vibračních omílacích zařízení je vibrační žlab. Ten je určen pro omílání velkých dílců, převážně válcovitého tvaru. Jeho délka může dosahovat až šesti metrů a šířka jednoho a půl metru.

Hlavními proměnnými, které mají vliv na výsledný povrch, jsou:

- doba omílání
- rychlost
- typ média
- hloubka zanoření
- dráha vlečení a rotace
- sklon upínací tyče nástroje

Omílací zařízení pro vlečné omílání je znázorněno na obrázku 28



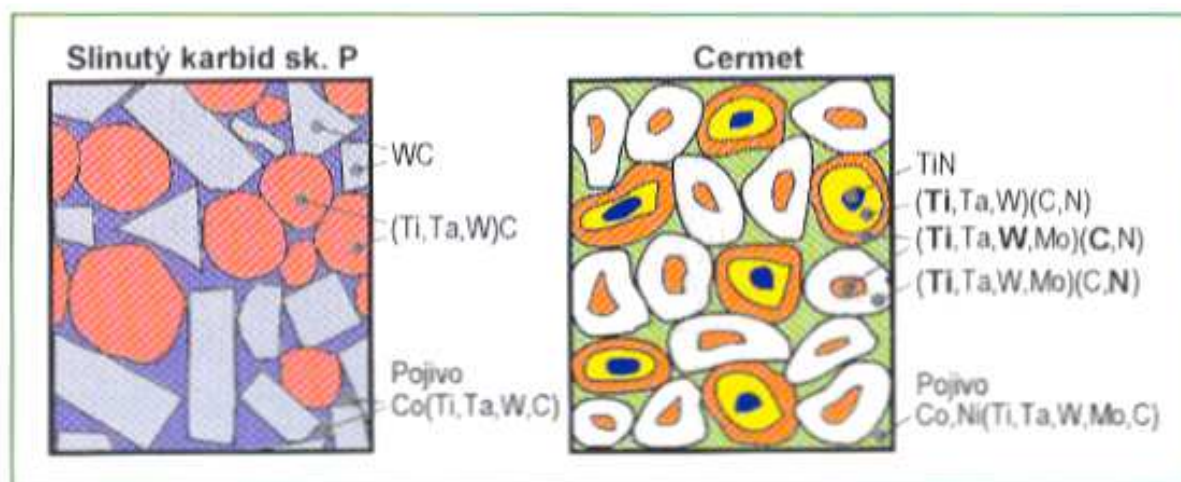
Obrázek 28 Zařízení pro vlečné omílání [10]

4.2. Cermet

(použité zdroje: [4], [14])

Cermet je jeden z produktů práškové metalurgie. Ve srovnání se slinutými karbidy má větší odolnost proti opotřebení, ve většině případů vyšší tvrdost, větší chemickou i tepelnou stabilitu.

Výchozími složkami, při výrobě cermetů, jsou karbidy titanu (TiC), karbonitrydy titanu (TiCN), nitridy titanu (TiN), karbidy molybdenu (Mo_2C) a karbidy wolframu (WC). Pojivem u tohoto materiálu je nikl (Ni), kobalt (Co) a v některých případech i molybden (Mo). Na obrázku 26 je znázorněna podoba zastoupení jednotlivých složek a zároveň rozdíl materiálové struktury mezi slinutým karbidem a popisovaným cermetem. Jádrem je tedy tvořeno karbidem titanu (TiC) a okolo něho se během procesu rozpouštění a precipitace v tavenině vytvoří věnec, která je tvořena z kubických karbidů (Ti, Mo, W)(C, N). A i to je rozdílné od slinutých karbidů, jádro je zde obaleno věncem, čemuž u SK není.

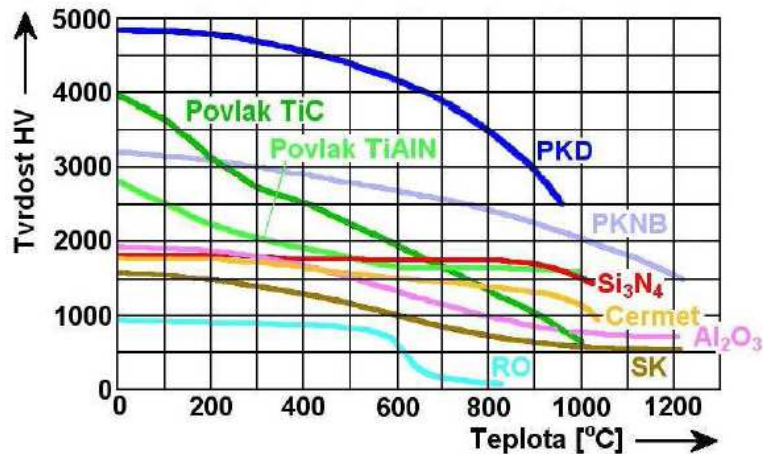


Obrázek 29 Znázornění skladby SK a cermetu

Jednotlivé složky materiálu mají různý vliv na jeho vlastnosti. Například TiN stabilizaci růstu zrna a zvyšuje odolnost proti opotřebení. (Ta, Nb)C mají vliv na tvrdost při vysokých teplotách, to znamená, že čím více je ho obsaženo ve výsledném materiálu, tím vyšší bude tvrdost při vysokých teplotách a zároveň vyšší odolnost proti teplotním šokům. Co a Ni, což jsou složky pojiva cermetu mají samozřejmě vliv na výslednou houževnatost, čím více je obsažen ve finální směsi, tím houževnatější materiál bude. Mo_2C a WC ovlivňují slinovací aktivitu, respektive jak bude probíhat proces slinování. A na závěr TiC, hlavní složka jádra, má vliv na výslednou tvrdost cermetu, opět platí, že čím více TiC ve směsi, tím vyšší pevnosti výsledný materiál dosáhne. Obecně lze také tvrdit, že čím více je ve výsledné směsi pojiva (Co, Ni), tím se zvyšuje lomová houževnatost a pevnost v ohybu v materiálu, ale naopak klesá jeho tvrdost, stává se houževnatějším.

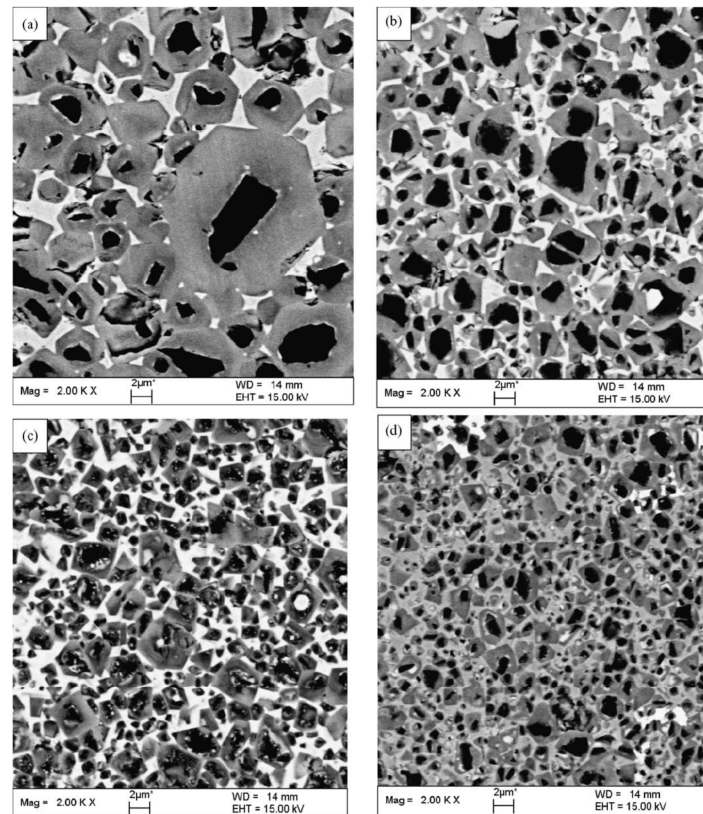
Na obrázku 30 je diagram, který znázorňuje, jaký vliv má teplota na tvrdost různých řezných materiálů. K nejvyššímu poklesu tvrdosti vlivem teploty zvyšující se teploty zcela jasně dochází u povlaku TiC a pak u PKD materiálu. Pokud se však zaměříme pouze na cermety, je

z grafu patrné, že si ponechávají svojí tvrdost v relativně širokém rozpětí teploty a pak ,okolo 900 °C, dochází k náhlé změně a tvrdost klesá. V případě slinutých karbidů je tomu tak, že okolo teploty 300 °C začínají postupně ztrácet svoji tvrdost. Tento pokles probíhá přibližně do teplot okolo 1000 °C, kde se hodnoty opět ustálí. Je to ovšem závislé na specifických druzích cermetů a slinutých karbidů. Lze však přepokládat, že průběhy by byly stejné, možná jen při jiných teplotách.



Obrázek 30 Diagram závislosti teploty na tvrdosti materiálů

Prvek, který ovlivňuje velikost zrna je molybden. S jeho nárůstem dochází ke zjemňování struktury, respektive ke zmenšování jádra. Tím pádem také ovlivňuje slinovací aktivitu materiálu, neboli lze tvrdit, že čím jemnější je struktura materiálu, tím snáze bude probíhat jeho slinování, protože dojde k lepšímu vyplnění prostoru směsí a dosáhne se i menší pórovitosti materiálu, což má za následek menší náchylnost na šíření trhlin a vyšší tvrdost materiálu. Více je to patrné na obrázku níže (Obrázek 31).



Obrázek 31 Vliv Mo na velikost zrna. a) 4% Mo, b) 6% Mo, c) 8% Mo, d) 15% Mo

Proces výroby cermetu se nazývá slinování. To obsahuje lisování směsi zmíněných složek v práškové podobě a jejich následné slinování při teplotě pohybující se okolo bodu tavení pojiva (1350 – 1650°C). Tím vznikne kompaktní materiál, jehož tvrdost je odvozena z tvrdosti výchozích materiálů.

U cermetů, které obsahují karbidy a nitridy titanu, dochází k nežádoucímu jevu, která se nazývá denitrifikace, neboli ochuzení o dusík. Tento děj se odehrává při samotné výrobě, kdy se $Ti(C,N)$ rozkládá a při tom se uvolňuje dusík v podobě bublin, jakož to reakce mezi pojivovým kovem a karbonitridem. To má za následek vznik mikropórů ve struktuře a tím se snižuje materiálová homogenita. Tento jev má také značný vliv na samotný proces slinování, zhoršuje ho a zároveň snižuje pevnost. Denitrifikaci se dá předcházet tím, že se do směsi přidá více molybdenu, který naopak zvyšuje schopnost smáčivosti a slévatelnosti materiálu. Nese to sebou ale i jeden negativní vliv a tím je zhoršení obrobitelnosti již slinutého výrobku. I to se však dá řešit a to pomocí metody PSSS, která při snížení potřebného množství molybdenu ponechává vysoký obsah dusíku. Využitím této metody tedy se ponechá materiálu jeho vysoká pevnost, houževnatost, odolnost proti opotřebení a zároveň dobrá obrobitelnost finálního cermetového výrobku.

V tabulce 6 je možné vidět porovnání charakteristických vlastností průměrného cermetového materiálu a průměrného slinutého karbidu. Vyplývá z ní, že cermet má oproti SK nižší hustotu, což znamená, že stejný objem bude mít nižší hmotnost, ale i přes to má vyšší tvrdost podle vickerse a však nižší pevnost. Dále z tabulky, mimo jiné vyplývá, že je to materiál křehčí. A také má podstatně nižší teplotní vodivost. Což může být v některých případech ku prospěchu

ve smyslu odvodu tepla z místa řezu a však také negativum, pokud by docházelo k nedostatečnému chlazení nástroje, jeho teplota by byla příliš vysoká.

Vlastnosti	Slinutý karbid (SK)	Cermet
Hustota [$\times 10^6 \text{kg/m}^3$]	14,5	6,8
Tvrдость HV [GPa]	14,7	15,7
Pevnost [MPa]	2450	1960
Youngův modul [$\times 10^4$ MPa]	588	392
Teplotní vodivost [W/mK]	76	13

Tabulka 5 Porovnání vlastností SK a cermetu

Cermety lze rozdělit dle jejich postupného vývoje do tří generací:

1) První generace:

Jedná se o cermety na bázi TiC – Mo – Ni a TiC – Mo₂C – Ni, které měly omezené využití a to jen na oblast nízkovýkonového řezání. Bylo tomu tak z důvodu jejich nižší houževnatosti a vyšší náchylnosti na vydrolování ve srovnání se slinutými karbidy. V současnosti se pro řezné nástroje téměř nepoužívá.

2) Druhá generace:

Zde došlo k přidání TaC a WC za účelem odstranění nevýhod první generace a to za účelem zvýšení pevnosti a zvýšení soudržnosti materiálu, respektive snížení jeho vydrolování. To mělo za následek rozšíření oblasti využití cermetových materiálů.

3) Třetí generace:

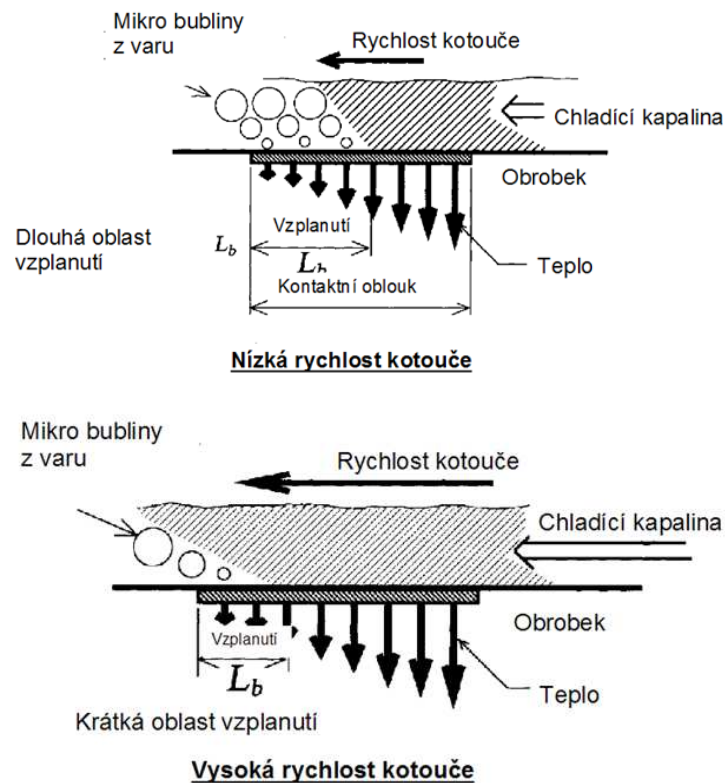
Zde už je v materiálu obsažen TiC – TiN. I u této generace bylo dosaženo vyšší odolnosti proti opotřebení a snížení vydrolování (ve srovnání s předchozími generacemi). Z toho důvodu se opět rozšířilo spektrum využití cermetového materiálu v oblasti třískového obrábění.

Na opotřebení nástrojů vyrobených z cermetového materiálu má asi největší vliv přerušování řezného procesu, což znamená časté vyjždění a opětovné najždění do řezu. Při každém vyjetí z řezu a znovu najetí totiž dochází k teplotním rázům v řezné oblasti. Jak nástroj opakovaně chladne a zahřívá se, tak dochází ke vzniku tahových a tlakových napětí v povrchu materiálu a to zapříčiňuje snadný rozvoj trhliny, což může vést až k destrukci nástroje.

Při únavovém porušení materiálu se projevuje jako jeden z nejvýznamnějších negativních vlivů fázová transformace kobaltu z kubické, plošně středěné mřížky na hexagonální. Způsobuje to vysoké napětí v průběhu cyklického namáhání anebo vyšší akumulované deformace. V případě cermetu s poměrem složek pojiva Co/Ni= 10/6 byla zjištěna vyšší odolnost vůči cyklickému namáhání, než je tomu v případě slinutých karbidů, kde je pojivo pouze Co. Vlivem zvýšených napětí v čele únavové trhliny a vlivem deformace dochází v materiálu k již zmiňované transformaci kobaltu z původní kubické mřížky. Tímto dějem se významně redukuje plastické deformace v materiálu a to má za následek zvýšení napětí před trhlinou.

Obecně platí, že pro obrábění tvrdých materiálů se ve většině případů používá broušení, což platí i pro cermetové materiály. Při broušení je nejnižší teplota pod kontaktním obloukem v místě, vstupu materiálu (méně než 100°C). Pokud ale teplota stoupne nad 150°C, nachází se

v kritické oblasti, kde dochází ke vzplanutí, následnému vyhoření a teplota skokově stoupne na 400°C. Vzplanutí je v rozsahu konce kontaktního oblouku a během broušení přesahuje i do další části kontaktu. Pro konstantní hloubku úběru a rychlost otáček brusného kotouče, je specifická jedna kritická posuvová rychlost a ta definuje mezní teplotu, kdy ke vzplanutí dojde či nedojde. Na velikost délky pásma vzplanutí má vliv narůstající objem odebíraného materiálu a to až do kritické meze, kde se pak už žádné změny nedějí. Pokud se však použije menší průměr nástroje, respektive brousícího kotouče a zvýší se jeho rychlost, dosáhne se zároveň snížení délky pásma vzplanutí (viz Obrázek 32).



Obrázek 32 Pásma vzplanutí

5. Návrh a realizace vlastního experimentu

Jako možná řešení zvýšení životnosti nástroje, respektive jeho produktivity byly navrženy následující varianty. V případě varianty 1, varianty 2 a 3, byl použit jako základ ultrafine tvrdokovový materiál od firmy Ceratizit jehož vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 6. Varianta 3 se odlišuje právě ve zvoleném materiálu, specifikace v tabulce 11. Zde byl využit materiál zvaný Cermet, jehož základní vlastnosti byly popsány v kapitole 4.2. Cermet. Cena nástroje je součet peněžních hodnot výrobního času, kde je započítána i obsluha stroje a cena polotovaru, který je již v dané délce nakupován od dodavatele. Pro všechny navržené varianty platí, že mají stejnou délku, 60 mm a délku břitu 15 mm.

Obsah Co [%]	4,2 %
Hustota [g/cm^3]	15,05 g/cm^3
Velikost zrna [μm]	0,2 μm
Tvrdość HV30 [MPa]	2200
Mez pevnosti v ohybu [MPa] (Transverse rupture strength)	3700 MPA

Tabulka 6 Specifikace použitého slinutého karbidu

5.1. Varianta 1 – omílání 1

Toto variantní řešení spočívá v úpravě povrchu řezné části nástroje a to konkrétně jeho hřbetu 1, metodou leštění omíláním, jež byla popsána v kapitole 4.1. Omílání.

Omílacím médiem bylo zvoleno drcené skořápky z vlašských ořechů, napuštěnými leštící diamantovou pastou PP 02 a označení této směsi je H4/400. Tento substrát je doporučovaný samotným výrobcem pro úpravu povrchů slinutých karbidů a keramiky (viz tabulka 8). Podmínky, za kterých byl proces leštění proveden, jsou znázorněny v tabulce 7.

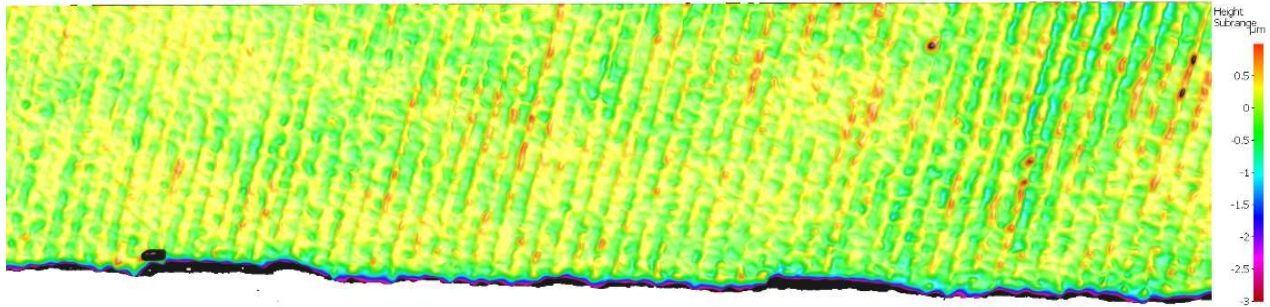
Veličina	Hodnota
Procesní čas [sec]	14
Čas ot. vlevo [sec]	7
Čas ot. vpravo [sec]	7

Tabulka 7 Leštící podmínky

Typ	Zrnitost [mm]	Použití
H4/400	0,4-0,8	Leštění keramiky a SK

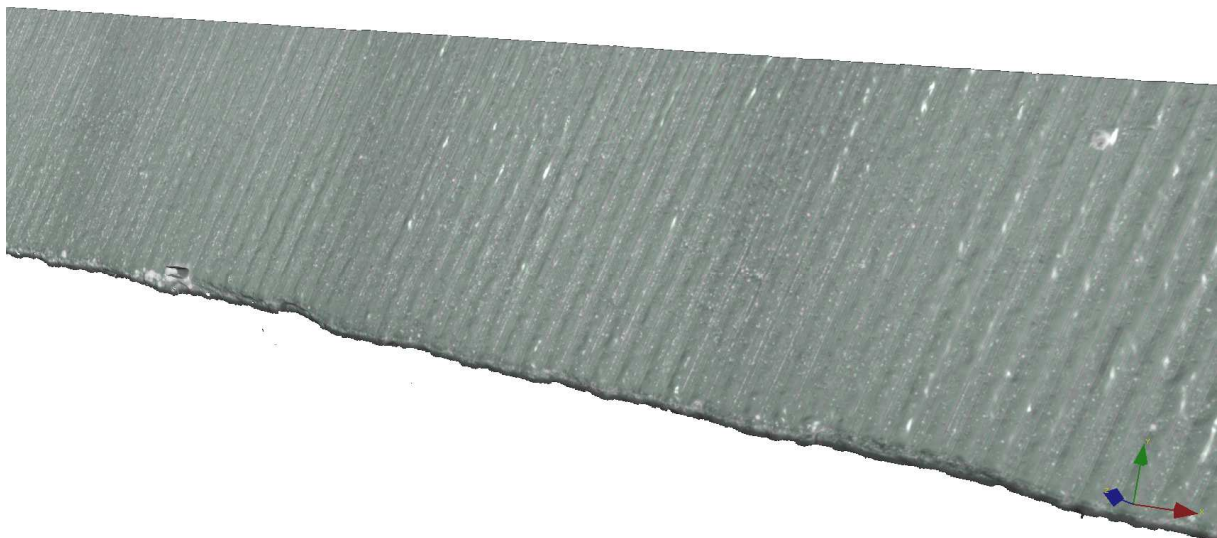
Tabulka 8 Vlastnosti leštícího media

Po provedení modifikace povrchu nástroje byla zhotovena povrchová analýza povrchu na hřbetě 1. Ta byla uskutečněna na měřicím přístroji Alicona Infinite Focus. Na obrázku 33 je možné vidět barevné spektrum drsnosti povrchu části hřbetu 1 (délka zkoumaného profilu je cca 6 mm). Černě jsou nevyšší body zeleně je znázorněna hladina okolo 0 μm a přes modrou k červené jsou znázorněny záporné hodnoty drsnosti povrchu.



Obrázek 33 Barevné znázornění drsnosti varianty 1

Na obrázku 34 je 3D scan povrchu. Je zde patrné, že omíláním, ve stanoveném čase, se neuskutečnily žádné markantní, respektive viditelné změny struktury povrchu upraveného nástroje. Jsou zde stále patrné dráhy brousícího kotouče. Avšak účelem tohoto typu omílání bylo pokusit se o snížení povrchového pnutí, které vzniklo při broušení nástroje, a tím stabilizování ostří nástroje. U této modifikace je také pravděpodobné, že došlo k malému zaoblení břitu nástroje, protože omílání bylo provedeno v obou směrech otáčení. Následkem toho také může být možné zaoblení vrubů, které se nacházejí na samotném břitu.



Obrázek 34 Scan povrchu varianty 1

Analýzou povrchu byly zjištěny následující drsnosti, $R_a = 0,153 \mu\text{m}$ a $R_z = 1,354 \mu\text{m}$

5.2. Varianta 2 – omílání 2

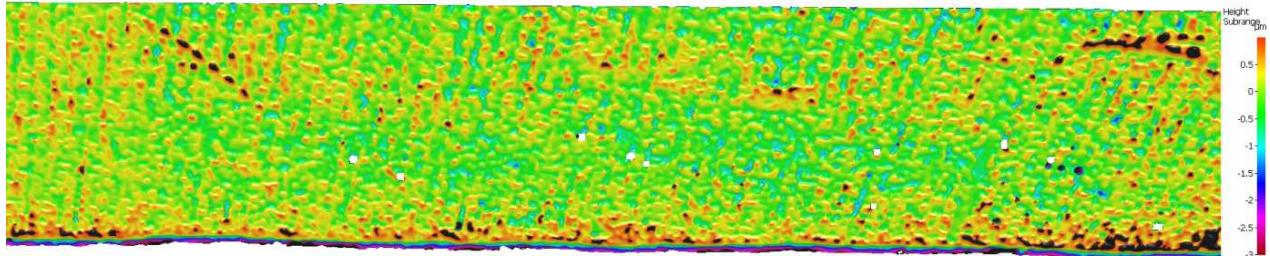
V případě varianty 2 bylo také použito technologie leštění povrchu na hřbetě 1 testovaného nástroje omíláním (viz. kapitola 4.1. Omílání).

I v tomto případě bylo omílacím médiem zvoleno drcené skořápky vlašských ořechů s označením H4/400, které byly napuštěné diamantovým leštícím práškem s označením PP 02 (specifikace viz tabulka 8).

Podmínky při úpravě povrchu nástroje:

Veličina	Hodnota
Procesní čas [min]	2
Čas ot. vlevo [min]	0
Čas ot. vpravo [min]	2

Tabulka 9 Leštící podmínky



Obrázek 35 Barevné znázornění drsnosti varianty 2

Na obrázku 35 a obrázku 36 si lze povšimnout, že došlo k částečnému zahlazení drah po brousícím kotouči, čímž by se teoreticky měla drsnost snížit. Avšak došlo ještě k uvolnění zrn ze struktury materiálu, což způsobilo právě zmiňované uvolnění kumulovaného povrchového napětí ve zkoumané oblasti nástroje. To ovšem zkreslilo výsledné hodnoty drsnosti, které jsou uvedeny na konci této kapitoly.

Od této povrchové úpravy se očekává menší nabalování materiálu na povrch nástroje, snazší odvod třísky z místa řezu a delší životnost nástroje, respektive kvalitnější obrobený povrch po delším čase, ve srovnání se standardním nástrojem.



Obrázek 36 Sken povrchu varianty 2

Analýzou povrchu byly zjištěny následující drsnosti, $R_a = 0,259 \mu\text{m}$ a $R_z = 2,251 \mu\text{m}$

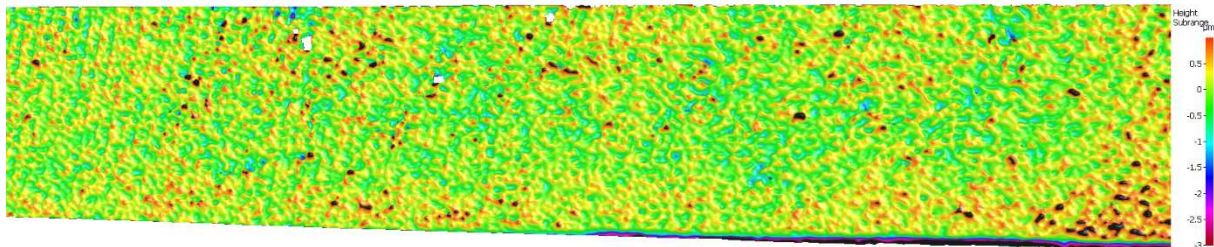
5.3. Varianta 3 – omílání 3

U variantního řešení číslo 3 bylo opět použito leštění omíláním na hřbetě nástroje. To zajišťují právě pouze pravé otáčky při samotném omílání.

A i v tomto případě bylo použito, jako omílací medium, drcené skořápky z vlašských ořechů H4/400 společně s leštící diamantovou pastou PP02 (specifikace v tabulce 8)

Veličina	Hodnota
Procesní čas [min]	4
Čas ot. Vlevo [min]	0
Čas ot. Vpravo [min]	4

Tabulka 10 Leštící podmínky



Obrázek 37 barevné spektrum drsnosti varianty 3

Na obrázcích 37 a 38 jsou zobrazeny snímky z povrchové analýzy na měřicím přístroji Alicona. Lze si zde povšimnout, že v tomto případě došlo k téměř naprostému drah od brusného kotouče a tím pádem k relativnímu sjednocení povrchu. Jediné, co opět ovlivňuje výsledné hodnoty drsnosti, jsou uvolněná zrna z povrchu materiálu, což pravděpodobně způsobilo pnutí v nástroji, které se tímto způsobem uvolnilo. Je to ovšem efekt vítaný.

Očekáváním od této úpravy je, nejrozsáhlejší povrchové změny vlivem leštění a tím pádem i výsledky testů by měli mít teoreticky největší rozdíl, oproti standardnímu nástroji, ze skupiny nástrojů, které byly upraveny touto metodou.



Obrázek 38 Sken povrchu varianty 3

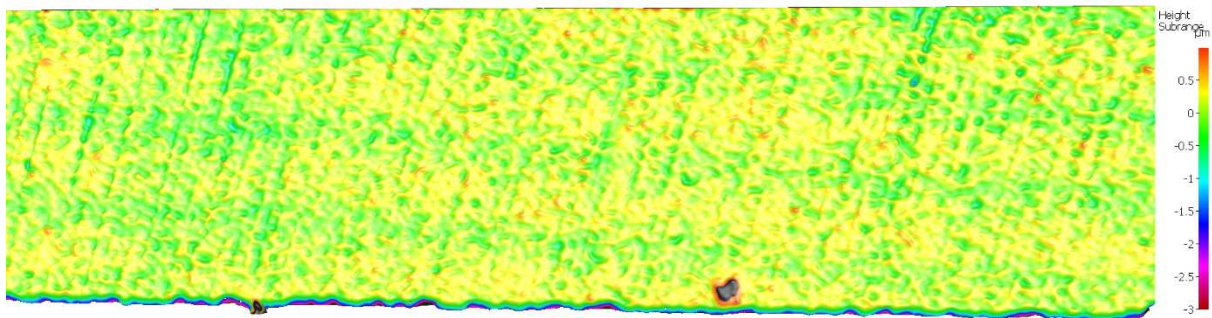
Analýzou povrchu byly zjištěny následující drsnosti, $R_a = 0,276 \mu\text{m}$ a $R_z = 2,525 \mu\text{m}$

5.4. Varianta 4 – cermet

Základní specifikace materiálu cermet byl již popsán v kapitole 4.1. Cermet. Tento materiál se vyznačuje vyšší odolností proti tepelným šokům, způsobeným obráběním (nájezd do materiálu, změna obráběného průřezu, řezných podmínek, atd.), Dále má vyšší odolnost proti tvorbě nárůstku a je určen k vysokorychlostnímu obrábění.

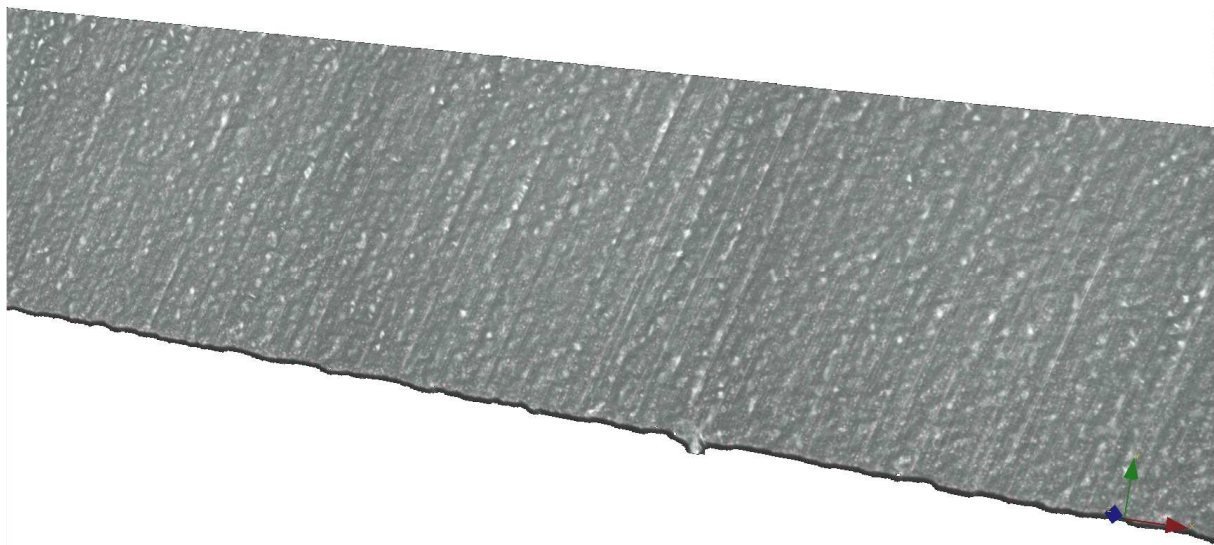
Obsah Co [%]	14,1
Hustota [g/cm^3]	15,05
Velikost zrna [μm]	0,8 – 1,3
Tvrдость HV30 [Mpa]	1580
Mez pevnosti v ohybu [Mpa] (Transverse rupture strength)	3700

Tabulka 11 Specifikace použitého cermetu



Obrázek 39 Barevné spektrum drsnosti varianty 4

I u této varianty byla provedena povrchová analýza na stroji Alicona. Obrazový záznam je obrázcích 39 a 40. Nebyla provedena žádná povrchová úprava a tak je povrchu podobný povrchu standardního nástroje. Dráhy po brousícím nástroji jsou zde patrné.



Obrázek 40 Sken povrchu varianty 4

Analýzou povrchu byly zjištěny následující drsnosti, $R_a = 0,154$ a $R_z = 1,319$

Touto variantou se zamýšlí prokázat rozdílnost cermetového materiálu od slinutého karbidu. Otestováním se zjistí, zdali má tento druh materiálu nějaký potenciál v obrábění sendvičového materiálu, který je uveden v kapitole (2.1. Definice sendvičového materiálu) a stane se tak náhradou současnému materiálu. Největší vliv na výsledky bude pravděpodobně mít vysoká rozdílnost v tepelné vodivosti mezi těmito materiály.

5.5. Porovnání variant

Přehledné srovnání jednotlivých variant je možné vidět v Tabulka 12, kde jsou shrnuté veškeré údaje o nich. U všech uvedených variant je totožná geometrie nástroje jako u standardního.

	Standard	Varianta1	Varianta 2	Varianta3	Varianta4
Materiál	CTU 08 L	CTU 08 L	CTU 08 L	CTU 08 L	CTF 28 T
Povrchová úprava	-	Omílání	Omílání	Omílání	-
Čas povrchové úpravy	-	7 s vlevo, 7 s vpravo	2 min vpravo	4 min vpravo	-
Drsnost Ra	0,163	0,153	0,259	0,276	0,153
Drsnost Rz	1,311	1,354	2,251	2,524	1,319

Tabulka 12 Porovnání variant

6. Vyhodnocení navržených variant

V průběhu celého testování byl bedlivě sledován jeho průběh. Kontroloval se jak samotný nástroj, tak povrch obrobeneho dílu. Přibližně v polovině životnosti většiny nástrojů byl proveden rozbor opotřebení na mikroskopu MULTICHECK PC500. Bylo zkoumáno opotřebení břítu nástroje, zdali došlo k nějakému úbytku materiálu v této oblasti, či přímo k destrukci břítu. Na obrázcích jsou vždy zobrazeny ty břity, které byly nejvíce poškozeny.

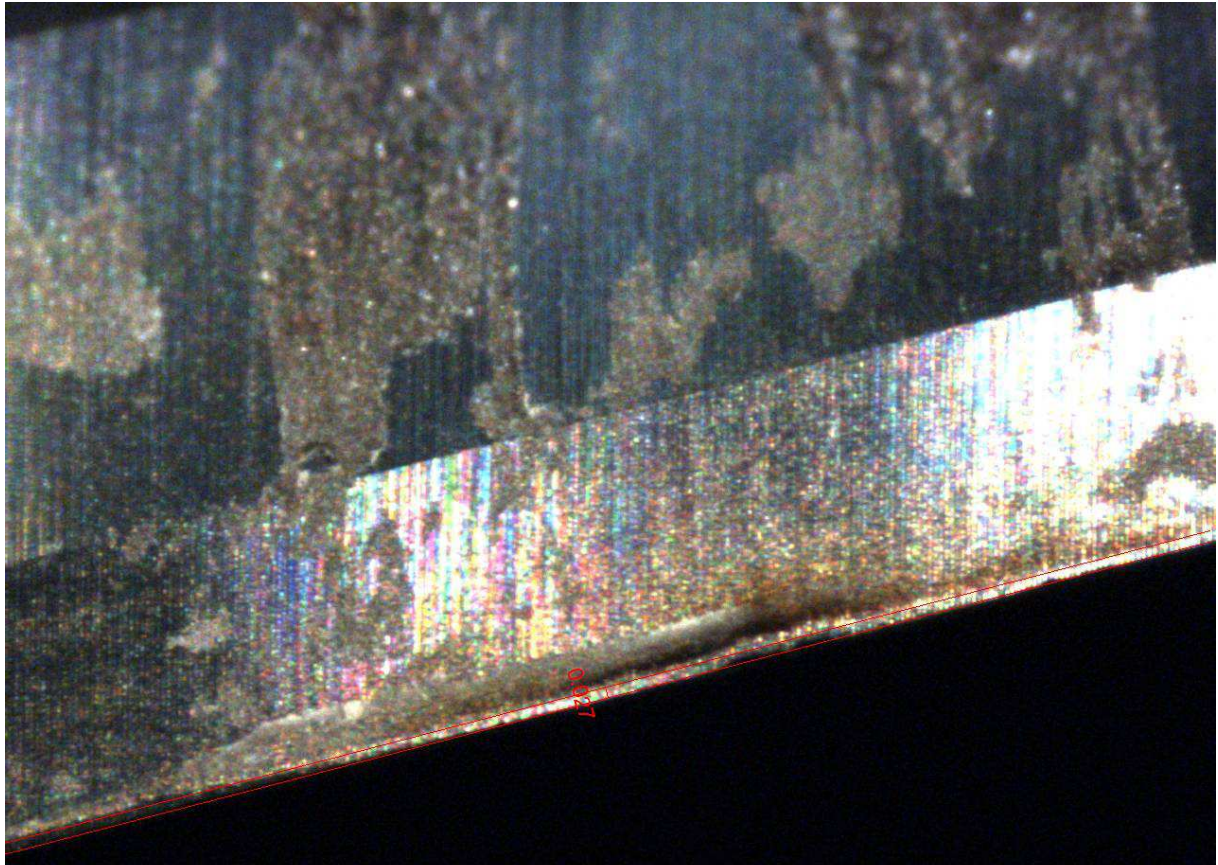
6.1. Vyhodnocení v polovině životnosti

Vyhodnocení v relativní polovině životnosti nástroje spočívalo v kontrole břítu na mikroskopu MULTICHECK PC500. Byla zkoumána oblast vzdálená přibližně 5 mm od špičky nástroje.

6.1.1. Standardní nástroj – polovina životnosti

Vyhodnocení v relativní polovině životnosti nástroje spočívalo v kontrole břítu na mikroskopu MULTICHECK PC500. Byla zkoumána oblast vzdálená přibližně 5 mm od špičky nástroje.

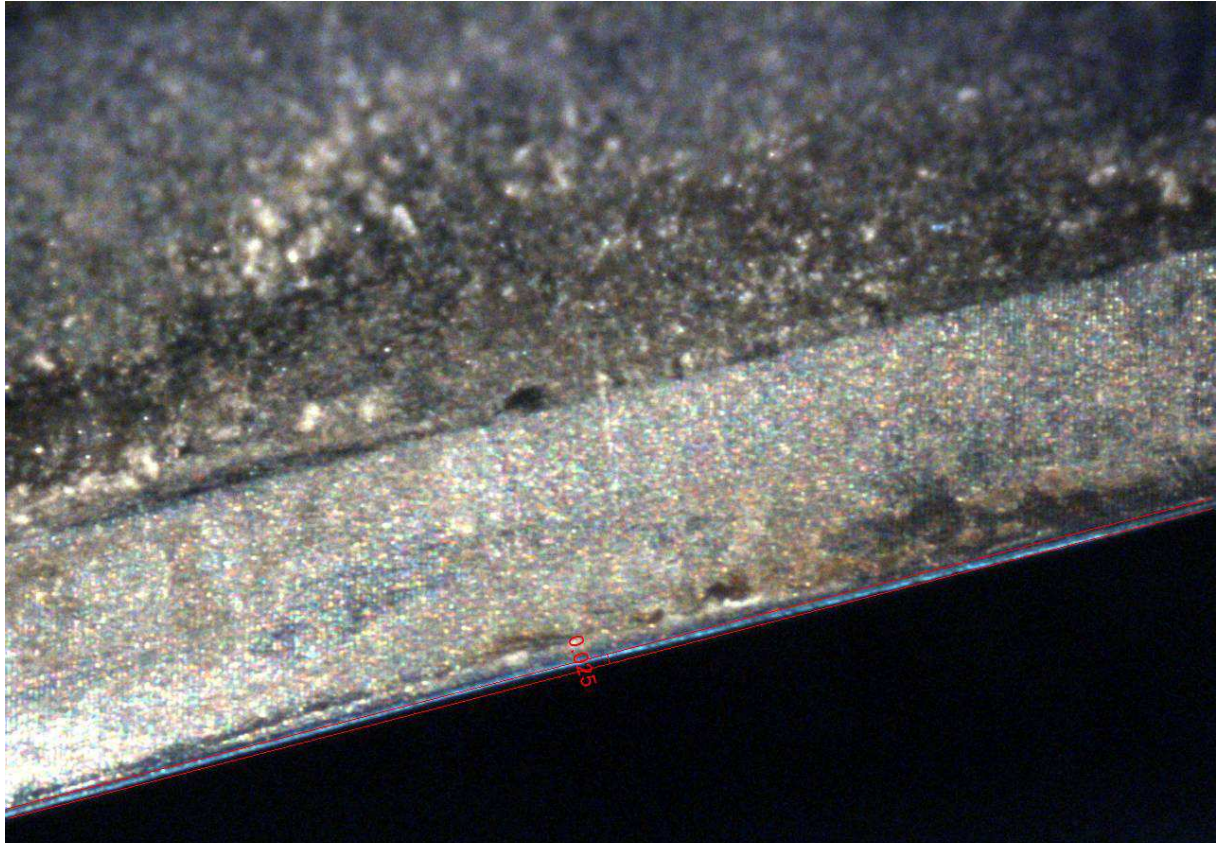
Na obrázku níže je možné pozorovat, jaké bylo opotřebení břitové hrany nástroje po obrobění 40 kusů obrobků. V jedné oblasti lze pozorovat úbytek materiálu a to do hloubky 0,027 mm. Dále si lze také povšimnout, že na nástroji již je nabalena malá vrstva materiálu. Jedná se o ABS plast spolu s malými zrny hliníku. Černě zbarvená oblast v místě opotřebení naznačuje také tomu, že v této oblasti je v průběhu obrábění vysoká teplota, takže je možné, že tato oblast je již tepelně ovlivněna. Nutno však podotknout, že tento nástroj je stále schopný dalšího obrábění, toto opotřebení zatím není kritické a tím pádem není důvodem k výměně nástroje, respektive k ukončení testování. Obrobený povrch byl stále vyhovující.



Obrázek 41 Vyhodnocení standardu v polovině životnosti

6.1.2. Varianta 1 – polovina životnosti

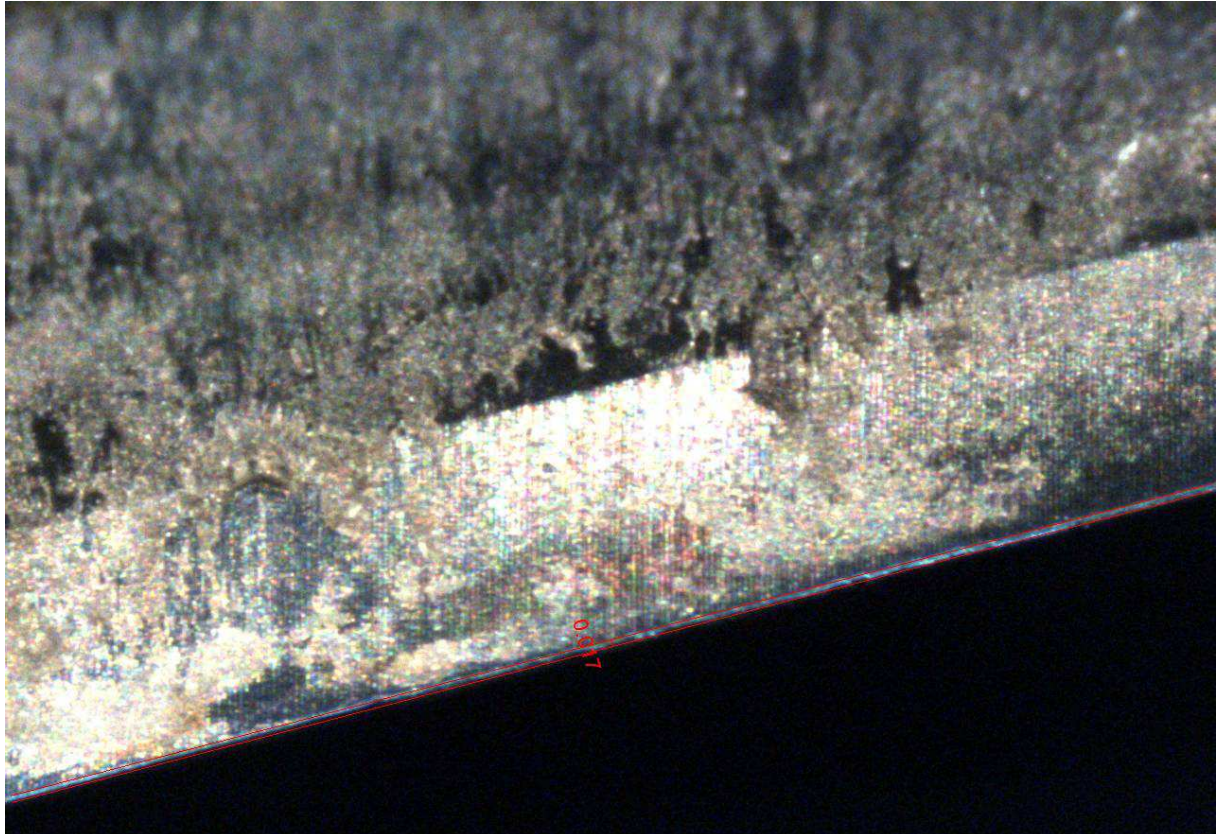
Na obrázku 26 je vyobrazení opotřebení životnosti druhé varianty v teoretické polovině své životnosti, tedy po obrobení 40 kusů. V tomto případě je zde možné pozorovat úbytek materiálu až do hloubky 0,025 mm, který byl způsobený obráběním. Toto opotřebení je specifické pro tento druh karbidu, který má velikost zrna okolo 0,2 μm . Pokud by zrna byla větší, lze předpokládat, že v případě vytržení jednoho z nich, z oblasti břitu, by poškození v tomto místě bylo rozsáhlejší a následovala by řetězová reakce, která by vedla k rychlejšímu dosažení mezní kvality obrobeného povrchu či poškození dílu. Z obrázku je také patrné, že i zde došlo k nabalení materiálu, i v oblasti břitu, avšak ne v takovém rozsahu, jako u standardního materiálu. Vysvětlením pro tento jev by mohlo být právě úprava povrchu omíláním. I v tomto případě obrobený povrch zatím nejevil známky poškození či nevyhovoval kritériím. Z toho důvodu se bude v testu pokračovat.



Obrázek 42 Vyhodnocení varianty 1 v polovině životnosti

6.1.3. Varianta 2 – polovina životnosti

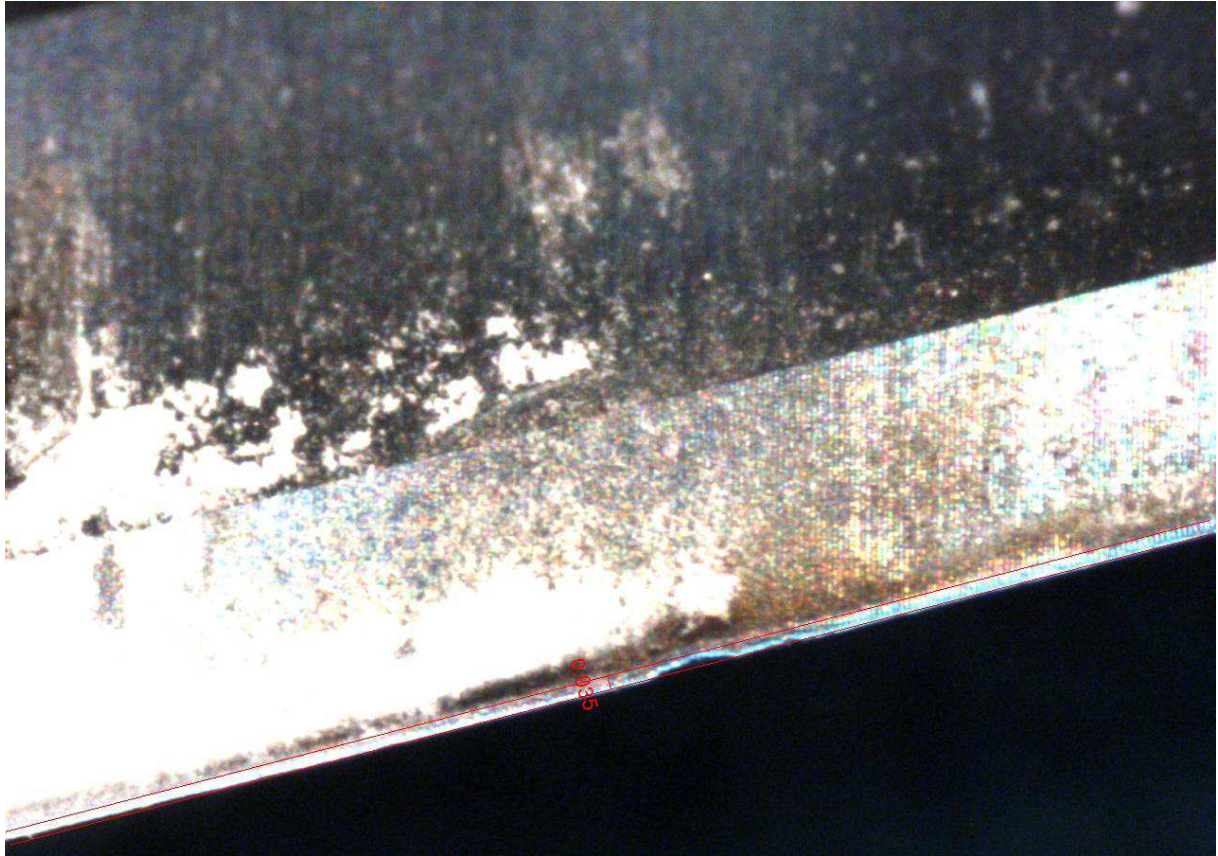
Obrázek 27 znázorňuje opotřebení nástroje, upraveného dle varianty 3, v polovině jeho životnosti, tedy po 40 obrobených kusech. I zde je patrné lehké opotřebení ve zkoumané oblasti. V tomto případě také došlo k opotřebení nástroje vymletím nebo odbroušením materiálu na břitu nástroje. Dochází k tomu proto, že v obráběném dílu se nachází vrstva hliníkové slitiny a také ABS plast, který v sobě má určitý podíl skelné složky, která na tento materiál působí jako silné abrazivum. Došlo tedy k opotřebení o maximální hloubce 0,017 mm. A i v tomto případě se nabalila tenká vrstva obráběného materiálu na nástroj. Na posledním obrobeném kuse nebyly žádné známky přílišného opotřebení nástroje a tak se bude v testování pokračovat.



Obrázek 43 Vyhodnocení varianty 2 v polovině životnosti

6.1.4. Varianta 3 – v polovině životnosti

Na obrázku níže je poslední zástupce z řady leštěných nástrojů omíláním. Zde bylo provedeno oboustranné omílání, vpravo i vlevo, za účelem stabilizace napětí v nástroji. Samozřejmě i v tomto případě lze pozorovat drobné, nikterak rozsáhlé, opotřebení břitu, které je způsobeno úbytkem materiálu v oblasti břitu nástroje, který se nachází přibližně 5 mm od špičky frézy. Jedná se o výmol o hloubce 0,035 mm. Co se nabalení materiálu na povrch frézy týče, tak i zde je možné pozorovat utkvění malé vrstvy ABS plastu spolu se zrny hliníku (drobné třísky). I přes toto opotřebení je nástroj nadále pokračovat v testování, protože jím obrobený povrch nejevil žádné známky špatného obrábění.



Obrázek 44 Vyhodnocení varianty 3 v polovině životnosti

6.1.5. Varianta 4 – po 2 kusech

V případě cermetového materiálu a z něho zhotoveného testovacího nástroje jsou výsledky překvapivě jiné. Snímek z mikroskopu lze vidět níže na obrázku 29. Tento stav nástroje však není v polovině jeho životnosti, ale po obrobení 2 kusů obrobku. Už v této chvíli je možné pozorovat vyšší opotřebení oproti předchozím variantám nebo oproti etalonovému nástroji. Na obrázku 29 je vidět opotřebení až do hloubky 0,064 μm a rozsáhlou teplotně ovlivněnou oblast, která je na obrázku zvýrazněna modře. Na břitu nástroje je také vidět, že došlo ke značnému zaoblení břitu nástroje, ve zkoumané oblasti. Obrobený povrch byl však stále v normě a tak se bude v testování pokračovat. Lze však hypoteticky říci, že tento nástroj nevydrží obrobek stejné množství dílů jako ostatní varianty.



Obrázek 45 Vyhodnocení varianty 4 v po obrobených dílech

6.2. Vyhodnocení na konci životnosti

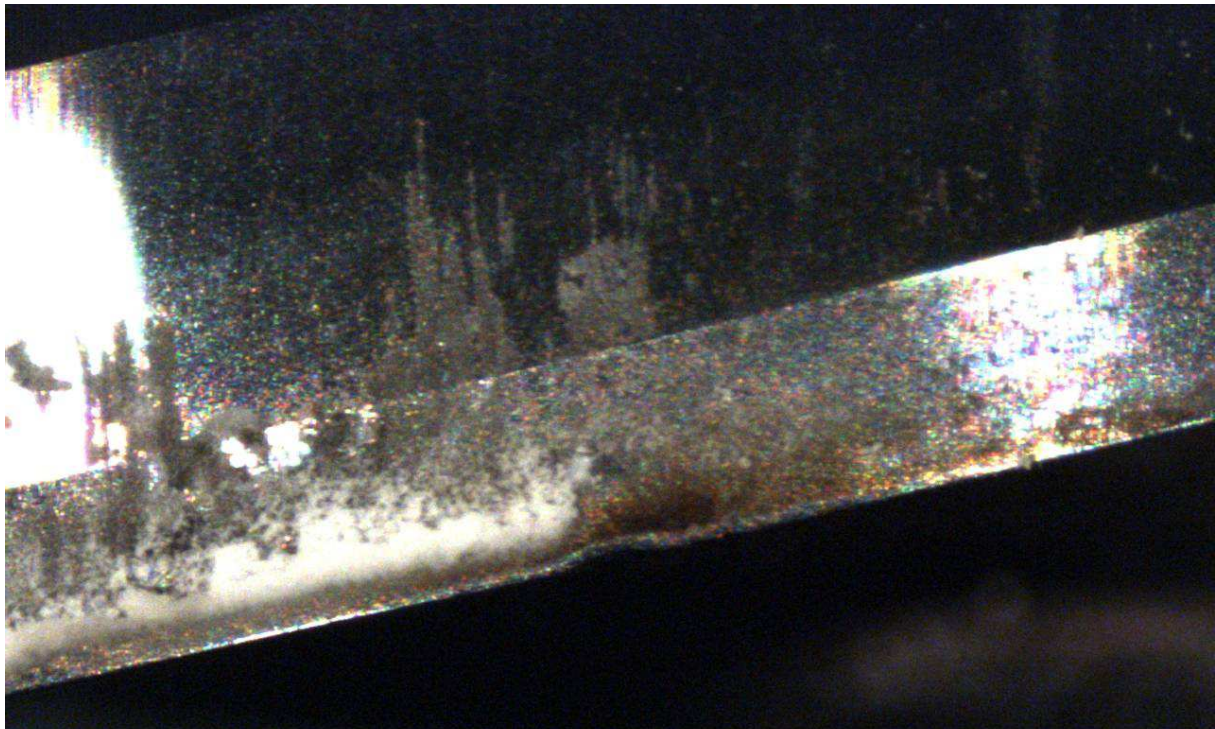
K výměně, respektive stáhnutí nástrojů ze stroje docházelo, pokud kvalita povrchu nebyla již vyhovující nebo došlo k poškození obráběného dílu. Tento fakt vyhodnocuje obsluha stroje, která má náležité zkušenosti k tomu, aby vyhodnotila, zdali povrch obrobené plochy je ještě vyhovující či nikoliv.

6.2.1. Standardní nástroj – vyhodnocení na konci životnosti

V případě standardního nástroje došlo k zaoblení břitu, což mělo za následek zvýšení řezného odporu a následné tvoření nevyhovujícího, drsného, obrobeného povrchu a tvorbu grotů (Obrázek 46). Také to způsobilo nárůstek teploty v místě řezu, což způsobilo napálení dřevěné složky sendvičového materiálu. Dále se také na břitu nástroje vyskytl úbytek materiálu v podobě výmolu.



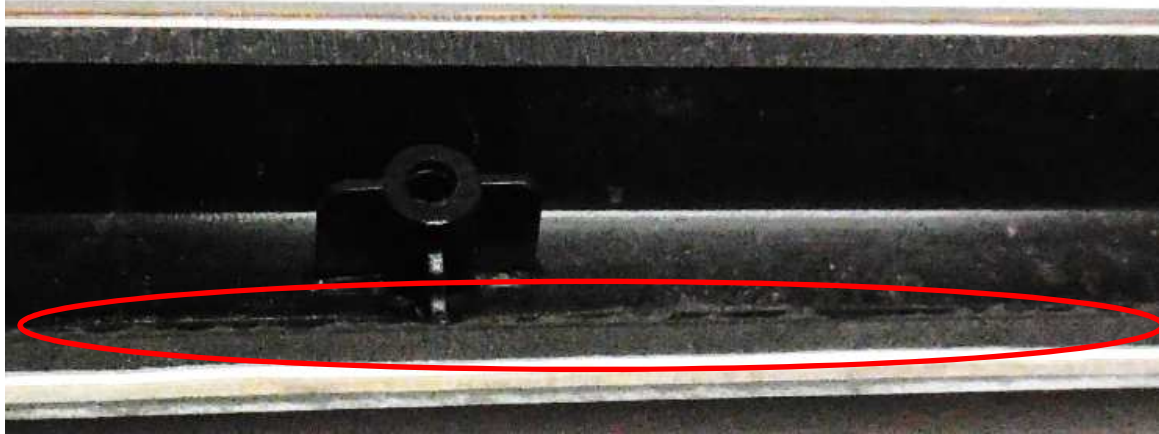
Obrázek 46



Obrázek 47 Vyhodnocení standardní nástroj (120x zvětšeno)

6.2.2. Varianta 1 – vyhodnocení na konci životnosti

Testování této frézy probíhalo bez komplikací, nástroj již od počátku pracoval srovnatelně, jako nástroj standardní. Obrobený povrch na počátku testování nevykazoval žádné známky nekvality obrábění. Okolo čtyřicátého kusu již bylo zapotřebí začít díly více začišťovat od ořepů (grotů), které se tvořili na spodní straně, z ABS plastu.



Obrázek 48 Tvorba otřepů

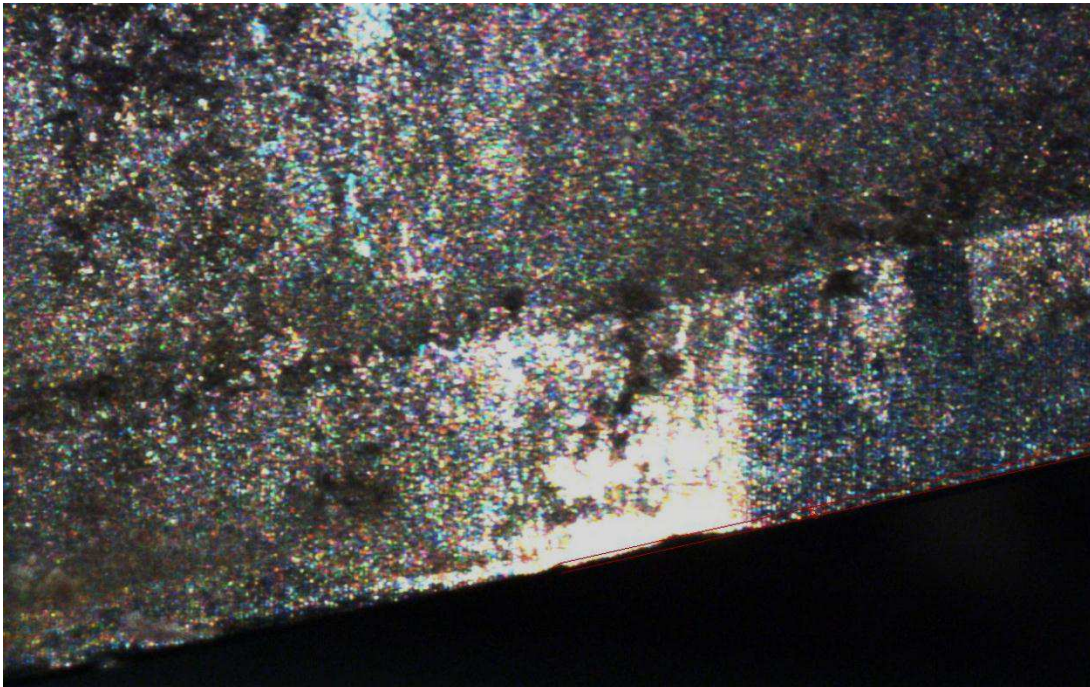
Nástroj byl vyměněn z důvodu napékání PUR laku a v jednom místě i dýhy, která je obsažena v díle (viz. Obrázek 49). Tato vada je následkem zvýšeného odporu při řezání, kdy v řezu vzniká vyšší teplota, která takto ovlivňuje jeho povrch.



Obrázek 49 Tepelné poškození dýhy

Na nástroji bylo možné pozorovat značné zaoblení břitu a zároveň jeho menší poškození v podobě vrubů vytvořených na břitu nástroje. Zaoblení břitu nástroje má velký vliv na velikost řezných sil, které při obrábění vznikají. Lze říci, že při větším zaoblení se zvyšují, řez se může stát nestabilním a odřezávání materiálu nekvalitním. Další známkou opotřebení nástroje bylo natavení obráběného materiálu téměř po celé ploše funkční části frézy. Natavený materiál má za následek například špatný odvod třísky z řezu, čímž může docházet k jejímu pýchování a v závěru to může vést až k ovlivnění kvality povrchu. Na obrázku 50 je

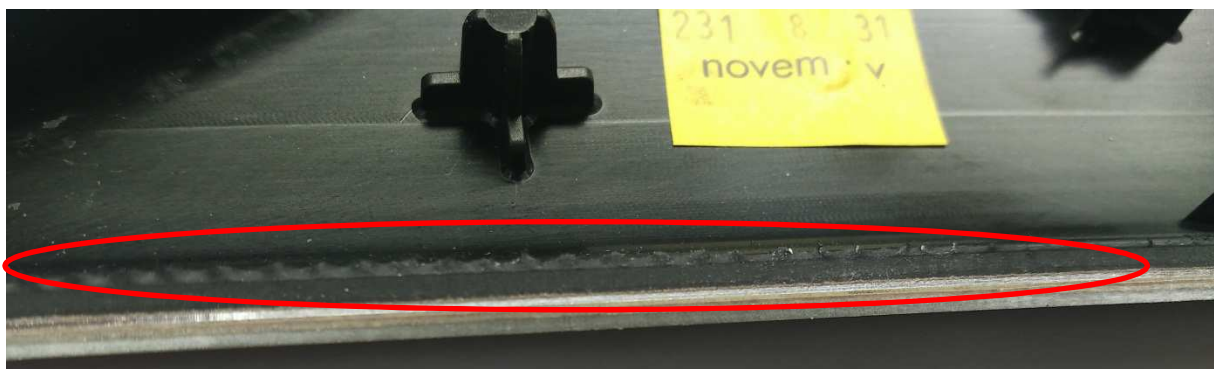
znázorněno opotřebení části nástroje při 120 násobném zvětšení. Snímek je pořízen přibližně 5 milimetrů od špičky nástroje.



Obrázek 50 Opotřebení nástroje - varianta 1 (120x zvětšeno)

6.2.3. Varianta 2 – vyhodnocení na konci životnosti

Ani varianta 2 nevykazovala žádné anomálie od počátku jejího frézování. Díly, které byly obrobena tímto nástrojem na počátku jeho životnosti, byly srovnatelné kvality s díly, které zhotovil s etalonovým nástroj. Na obrázku 51 je možné vidět, jak vypadal obrobena povrch při 53 kusech. Stejně, jako u přechozí varianty se začali tvořit groty, ale v tomto případě o několik kusů později. Bylo již nutné, aby obsluha stroje začala díl více ručně opracovávat.



Obrázek 51 Tvorba otřepů

Tento stav vydržel až do devadesátého šestého kusu, kdy se začalo projevovat značné opotřebení frézy. Projevilo se to velice podobně jako u předchozí varianty. Kvalita obrobena povrchu se zhoršila, zdrsňela, řez PUR laku a hliníkové vrstvy byl matný, ne lesklý, jako u nových nebo méně použitých nástrojů. Místy docházelo dokonce k napékání hliníkové vrstvy, viz. Obrázek 52.



Obrázek 52 Natavení hliníku

Na hřbetě nástroje bylo možné pozorovat rozsáhlou tepelně ovlivněnou oblast a velké plochy napečeného materiálu, které opět zakrýval velké procento funkční části nástroje. I v tomto případě bylo možné pozorovat zvětšení zaoblení ostří a zároveň i jeho poškození ve formě vytvoření vrubů, pravděpodobně vymletím materiálu (viz. Obrázek 53). Lze tedy konstatovat, že nástroj dosáhl stejného opotřebení jako předchozí varianta avšak po více obrobených kusech, respektive za delší strojní čas.



Obrázek 53 Opotřebení nástroje – varianta 2 (120x zvětšeno)

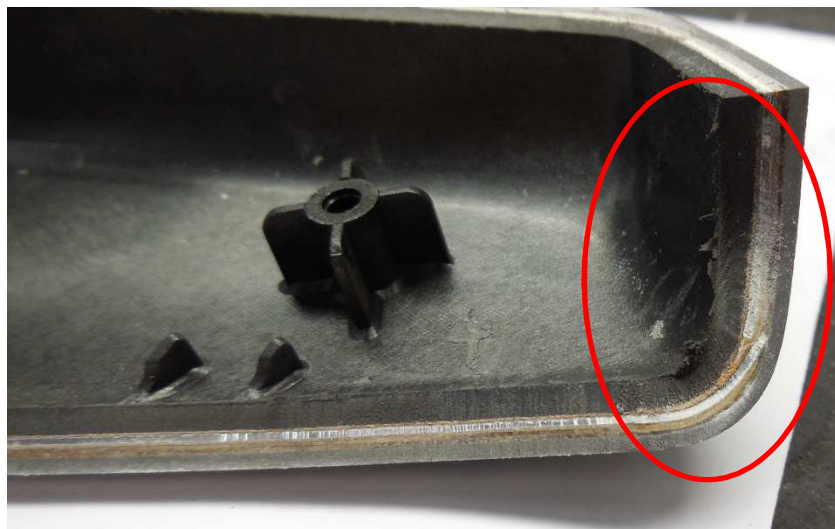
6.2.4. Varianta 3 – vyhodnocení na konci životnosti

Průběh této varianty byl rozdílný, oproti dvěma předchozím. Znamky opotřebení frézy se dostavily až při sedmdesátém osmém kusu, kdy se také začal vytvářet grot, na spodní hraně, kde je zmiňovaný ABS materiál (viz. Obrázek 54). Obsluha tedy musela opět začít více manuálně očišťovat díly.



Obrázek 54 Tvroba otřepů

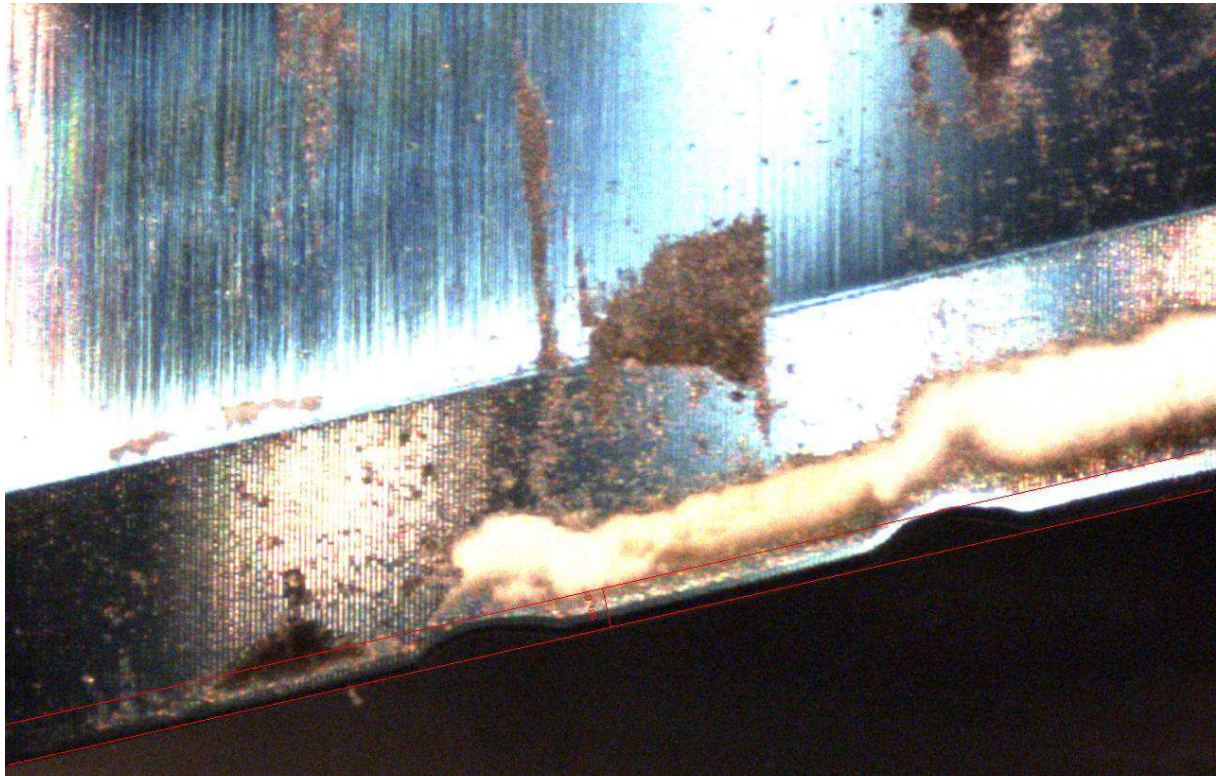
Další zhoršení obrobeného povrchu se začalo projevovat od sto dvacátého osmého kusu, kdy povrch začal hrubnout a grot se začal zvětšovat, stejné příznaky otupení nástroje jako u předchozích dvou variant. Opět se to projevilo jako zdrsnění obrobeného povrchu, které bylo nejvíce patrné na PUR laku, hliníkové vrstvě a na dýze v podobě její napalování v určitých částech kontury obráběného dílu (viz. Obrázek 55).



Obrázek 55 Hrubý povrch a teplotní ovlivnění dílu

Při prozkoumání nástroje na mikroskopu MULTICHECK PC500 se zjistilo jednak značné zaoblení bříty, stejně jako u předchozích variant, ale zároveň také velké poškození ve formě výmolů, ve zkoumané části nástroje (oblast vzdálená 5 mm od špičky nástroje), které téměř zasahovaly až do hloubky 0,2 milimetru. Toto poškození a v takovém rozsahu bylo však pozorováno jen na jednom ze 2 břitů. U druhého bříty nebylo poškození až do takové míry, zde bylo pouze do hloubky 0,09 milimetru. Snížená kvalita obrobeného povrchu má tedy stejný důvod, jako u předchozích variant, a to zvýšený řezný odpor a následkem otupení bříty

a nárůstů zhoršená drsnost a zvýšení teploty v některých oblastech kontury dílu (zejména rádiusových, kde stroj jede nižším posuvem).



Obrázek 56 Opotřevení nástroje – varianta 3 (120x zvětšeno)

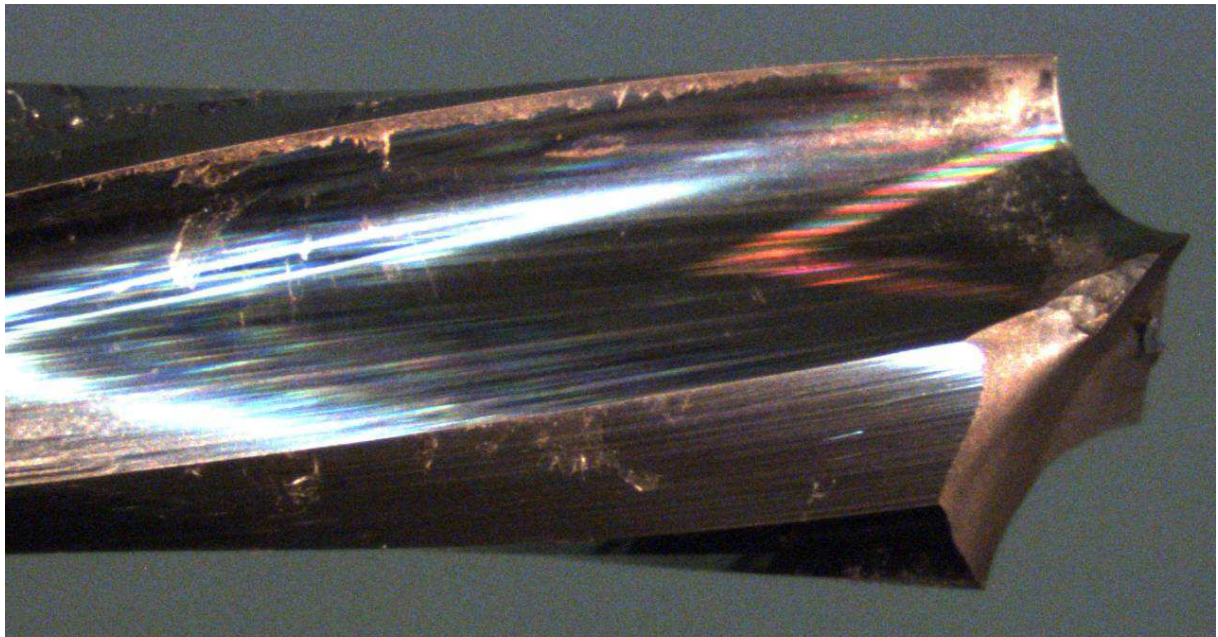
6.2.5. Varianta 4 – vyhodnocení na konci životnosti

Tato varianta, kdy byl použit rozdílný materiál při výrobě frézy, měla diametrálně jiné výsledky než předchozí. Již od prvního kusu byly patrné známky nedokonalého oddělování třísky a to v podobě tvorby grotu již po prvním kuse. Po zkontrolování frézy bylo zjištěno, že již v této fázi má na sobě fréza nabaleno relativně dost materiálu. Pokračovalo se v obrobení ještě jednoho kusu a pak byla fréza vyndána, aby se provedlo předběžné vyhodnocení, které je uvedeno v kapitole 6.1.5. Varianta 4 – vyhodnocení po 2 kusech. Po této analýze byl nástroj podroben pokračování testování, které ovšem nedopadlo dobře. Při druhé operaci došlo k destrukci nástroje a jeho následky jsou vidět na Obrázku 58. Zde je vidět, že nedošlo k úplnému oddělení materiálu v důsledku „zkrácení“ délky nástroje. Na obrázku 57 je fréza po částečném obrobení třetího kusu. Bylo odlomeno přibližně 4 milimetry nástroje.

Velkou roli při obrábění tímto materiálem hrála tepelná vodivost materiálu, která je oproti slinutým karbidům nižší. To zapříčinilo rychlé nabalení frézy odebíraným materiálem, protože se v řezu lokálně rapidně zvýšila teplota, a ten se začal na frézu natavovat a začal vznikat nárůstek, který má vliv na průběh obrábění (zvýšení rezného odporu).



Obrázek 57 Nedoříznutý materiál



Obrázek 58 Destrukce nástroje - varianta 4 (20x zvětšeno)

6.3. Tabulka shrnutí vyhodnocení

Tabulka 13 shrnuje fakta z předchozích vyhodnocení variant a na základě obrobených kusů, spolu s cenou vyhodnocuje nejvýhodnější variantu.

	Počet obrobených dílů [ks]	Standardní počet [ks]	Důvod výměny	Cena nástroje [€]	Cena jednoho dílu k nástroji [€/díl]	Výkonnost [%]
Etalon	90	90	Nekvalitní obrobený povrch	11,55	0,13	-
Varianta 1	95		Nekvalitní obrobený povrch	11,64	0,12	106
Varianta 2	101		Nekvalitní obrobený povrch	12,29	0,12	112
Varianta 3	135		Nekvalitní obrobený povrch	13,03	0,10	150
Varianta 4	3		Destrukce nástroje	12,55	4,18	3

Tabulka 13 Shrnutí vyhodnocení

7. Zhodnocení variant

V této kapitole je provedeno zhodnocení na základě informací a faktů z kapitoly 6 Vyhodnocení variant na konci životnosti.

7.1. Zhodnocení varianty 1

Výsledky této varianty, která byla omílána po nejkratší čas ze všech variant, nejsou nikterak závratně rozdílné oproti standardnímu nástroji. Její životnost byla o 6% lepší, ve srovnání s etalonovým nástrojem. Při porovnání poměru ceny nástroje a obrobených dílů (tabulka 13, sloupec Cena jednoho dílu k nástroji [€/díl]) vychází tato varianta o 0,1 €/díl výhodněji.

7.2. Zhodnocení varianty 2

Varianta 2 obrobila více kusů, než varianta předchozí. Dá se tedy říci, že její životnost byla omíláním prodloužena o 12% oproti etalonovému nástroji a o 6% více než vydržela varianta 1, což vyplývá z tabulky 13. Hodnota poměru ceny nástroje a obrobených dílů je v tomto případě totožná s variantou 1. V tomto kritériu tedy vychází také o 0,1 €/díl lépe oproti etalonovému nástroji.

7.3. Zhodnocení varianty 3

Životnost frézy upravené podle varianty 3 dosáhla nejdelšího času. Nárůst životnosti pro tento nástroj je 50%, než životnost standardního, etalonového nástroje. Je to samozřejmě znatelné i na výsledku poměru ceny nástroje ku obrobeným dílům, kde je hodnota o 0,03 €/díl nižší než pro etalon. Na základě těchto výsledků se doporučuje uskutečnit dlouhodobý test nástroje anebo vycházet z něho pro návrh dalších modifikací.

7.4. Zhodnocení varianty 4

U varianty číslo 4 byl změněn základní materiál nástroje, nebyly zde žádné povrchové úpravy. Z tabulky vyhodnocení je zřejmé, že tento typ materiálu s takto nastavenou geometrií a řeznými podmínkami není vyhovující pro obrábění sendvičového materiálu o tomto složení. Došlo k obrobení pouze 3 kusů, kde poté došlo k destrukci nástroje. Výkonnost je tedy pouhá 3 % oproti standardnímu nástroji. Navrhuje se tedy, že pro další testování tohoto materiálu je nezbytné upravit geometrii nástroje, pokud možno vytvořit masivnější břit, ve smyslu, aby byl odolnější při vnikání do materiálu.

8. Závěr

Tato diplomová práce měla za cíl zjistit, jaký vliv bude mít na životnost dvoubřité čelní válčové frézy úprava jejího povrchu anebo záměna jejího výchozího materiálu, při obrábění komplikovaného sendvičového materiálu. První kapitoly jsou zaměřeny na vysvětlení obecných základů sendvičových materiálů, pro snazší pochopení řešené problematiky. Dále se zabývá specifikací problému, které jsou spojeny s jejich obráběním. Mimo to je zde i popis konkrétního sendvičového materiálu, na kterém byly experimenty prováděny

Další část je zaměřena na základní popis modifikací, které byly použity při návrhu variantního řešení, které je zde také popsáno. U variant jedna až tři bylo navrženo změn postupně. Nejdříve se začalo s omíláním v nízkém čase sedmi sekund, u druhé varianty po dobu dvou minut a v případě třetí to byly 4 minuty. Záměrem těchto specifikací bylo znázornit postupné změny životnosti nástroje. Pro variantu 4 bylo cílem zjistit, zdali má tento málo používaný materiál potenciál při obrábění uvedeného materiálu.

Závěrem práce je vyhodnocení a zhodnocení všech variant, ze kterého plyne následující. Úprava povrchu řezné části nástroje omíláním má určitý vliv na jeho životnost, což dokazuje vyhodnocení v tabulce 13. Byli dokonce i zaznamenány pozitivní výsledky ve smyslu zvýšení životnosti nástroje a to téměř u všech variant, kromě varianty 4. Nejcitelnější nárůst byl u varianty číslo tři, která se doporučuje pro provedení dlouhodobého testování anebo minimálně pro podklad k dalšímu provedení úpravy povrchu nástroje, který by vedl k ještě lepším výsledkům. U varianty 4 je nutné experimentovat s nastavením geometrie nástroje, která by vedla ke zvýšení odolnosti frézy při nájezdu do materiálu a snášela tak lépe rázy s tím spojené.

POUŽITÁ LITERATURA

KNIŽNÍ PUBLIKACE

- [1] JANDEČKA, K. ,ČESÁNEK, J. ,KOŽMÍN, P. : *Programování NC strojů*. Plzeň: ZČU, 2000. ISBN 80-7082-694-4
- [2] KROUPA, Tomáš. *Obrábění kompozitních materiálů*. 2014. 77s. Diplomová práce
- [3] JANOUŠEK, Antonín. *Materiálové aspekty při vlečném omílání břitů osových nástrojů*. 2102. 41 s. Bakalářská práce
- [4] SKÁLOVÁ, J. , KOUTSKÝ, J. , MOTYČKA, V. *Nauka o materiálech*. Plzeň: ZČU, 2008 ISBN 978-80-7043-244-0
- [5] FABRIGER, Daniel. *Technologie výroby sendvičových kompozitních struktur Vakuovou infuzí pod pružnou folií*. 2011. 124 s. Diplomová práce
- [15] KRÍŽ, A. , *Podklady k přednášce z předmětu Moderní Materiály - Cermety*. Plzeň ZČU

ELEKTRONICKÉ ZDROJE

- [6] <http://www.indiamart.com/as-entps-kanpur/products.html>
- [7] Ceratizit group, <http://www.ceratizit.com/products/rods-preforms/carbide-grades/>
- [8] <http://www.globalspec.com/reference/76593/203279/multiaxis-machine-configurations>
- [9] Doc.Ing. Zdeněk Kořínek, Kompozity, [cit. 2016-9-2] <http://www.volny.cz/zkorinek>
- [10] <http://www.directindustry.com/prod/otec-prazisionsfinish-gmbh/product-29530-435196.html>
- [11] Havel composites [cit. 2013-9-10] Všeobecný a základní popis materiálů používaných při výrobě kompozitů. <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/74-Vseobecny-a-zakladni-popismaterialu-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitu.html>
- [12] PC tuning [cit. 2016-15-03] Casemodding – kompozitní zážrak - laminát http://pctuning.tyden.cz/navody/upravy-modding/12243-casemodding-kompozitni_zazraklaminat
- [13] [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/defa\[3\]ult.asp](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/defa[3]ult.asp)

x

[14] OTEC PRÄZISIONSFINISH GMBH,
http://www.otec.de/fileadmin/user_upload_2014/downloads/Prospekte/Verfahrensmittel_DE.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1 Skladba základního sendvičového materiálu (A – vnější vrstva, B – adhezivní vrstva, C – voštinové jádro)
- Obrázek 2 Ohybové zatížení sendvičové konstrukce
- Obrázek 3 Struktura HPL
- Obrázek 4 Příklad dřevěného jádra
- Obrázek 5 Příklady struktury voštin
- Obrázek 6 Postup výroby plechové voštiny
- Obrázek 7 Ukázka výrobní technologie HOBE
- Obrázek 8 výroba voštiny pomocí stříhání a ohýbání
- Obrázek 9 Složení dílu
- Obrázek 10 Tvar obráběného dílu (polotovary)
- Obrázek 11 Ukázka odštípnutí laku
- Obrázek 12 Standardní nástroj
- Obrázek 13 Barevné spektrum drsnosti povrchu etalonového nástroje
- Obrázek 14 Scan struktury povrchu etalonového nástroje
- Obrázek 15 Souřadný systém stroje [13]
- Obrázek 16 Tepelný upínač nástroje
- Obrázek 17 HAIMER [6]
- Obrázek 18 Šablona operace 1
- Obrázek 19 Šablona operace 2
- Obrázek 20 Plastové technologické činidlo
- Obrázek 21 Keramické technologické činidlo
- Obrázek 22 Technické činidlo ze skořápek vlašských ořechů
- Obrázek 23 Systém Rotomatic
- Obrázek 24 Long radius vibrační omílání
- Obrázek 25 Vibrační žlab
- Obrázek 26 Odstředivé omílání
- Obrázek 27 Mokrý odstředivé omílání
- Obrázek 28 Zařízení pro vlečné omílání [10]
- Obrázek 29 Znárodnění skladby SK a cementu
- Obrázek 30 Diagram závislosti teploty na tvrdosti materiálů
- Obrázek 31 Vliv Mo na velikost zrna. a) 4% Mo, b) 6% Mo, c) 8% Mo, d) 15% Mo
- Obrázek 32 Pásma vzplanutí
- Obrázek 33 Barevné znázornění drsnosti varianty 1
- Obrázek 34 Scan povrchu varianty 1
- Obrázek 35 Barevné znázornění drsnosti varianty 2
- Obrázek 36 Sken povrchu varianty 2

- Obrázek 37 barevné spektrum drsnosti varianty 3
- Obrázek 38 Sken povrchu varianty 3
- Obrázek 39 Barevné spektrum drsnosti varianty 4
- Obrázek 40 Sken povrchu varianty 4
- Obrázek 41 Vyhodnocení standardu v polovině životnosti
- Obrázek 42 Vyhodnocení varianty 1 v polovině životnosti
- Obrázek 43 Vyhodnocení varianty 2 v polovině životnosti
- Obrázek 44 Vyhodnocení varianty 3 v polovině životnosti
- Obrázek 45 Vyhodnocení varianty 4 v po obrobených dílech
- Obrázek 46
- Obrázek 47 Vyhodnocení standardní nástroj (120x zvětšeno)
- Obrázek 48 Tvorba otřepů
- Obrázek 49 Tepelné poškození dýhy
- Obrázek 50 Opotřebení nástroje - varianta 1 (120x zvětšeno)
- Obrázek 51 Tvorba otřepů
- Obrázek 52 Natavení hliníku
- Obrázek 53 Opotřebení nástroje – varianta 2 (120x zvětšeno)
- Obrázek 54 Tvorba otřepů
- Obrázek 55 Hrubý povrch a teplotní ovlivnění dílu
- Obrázek 56 Opotřebení nástroje – varianta 3 (120x zvětšeno)
- Obrázek 57 Nedoříznutý materiál
- Obrázek 58 Destrukce nástroje - varianta 4 (20x zvětšeno)

SEZNAM TABULEK

- Tabulka 1 Materiálová specifikace slinutého karbidu
- Tabulka 2 Geometrická specifikace nástroje
- Tabulka 4 Řezné podmínky
- Tabulka 6 Porovnání vlastností SK a cermetu
- Tabulka 6 Specifikace použitého slinutého karbidu
- Tabulka 7 Leštící podmínky
- Tabulka 8 Vlastnosti leštícího media
- Tabulka 9 Leštící podmínky
- Tabulka 10 Leštící podmínky
- Tabulka 11 Specifikace použitého cermetu
- Tabulka 12 Porovnání variant
- Tabulka 13 Shrnutí vyhodnocení

PŘÍLOHY K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Trvanlivost nástrojů při obrábění sendvičového materiálu

Autor: Bc. Jiří Vobrouček

Seznam příloh

Vázané: Příloha č.1 – Diagramy záznamu drsnosti.....57- 61

